

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Институт почвоведения и агрохимии СО РАН  
Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Новосибирский государственный аграрный университет  
Общество почвоведов имени В.В. Докучаева

# ***ПОЧВЫ В БИОСФЕРЕ***

**Сборник материалов Всероссийской научной конференции  
с международным участием, посвященной 50-летию  
Института почвоведения и агрохимии СО РАН**

**10–14 сентября 2018 г., г. Новосибирск**

## **ЧАСТЬ I**

Томск  
Издательский Дом Томского государственного университета  
2018

УДК 631.4  
ББК 40.3  
П65

**Редакционная коллегия:**

д-р. биол. наук *А.И. Сысо* (отв. редактор),  
канд. биол. наук *Д.А. Соколов*, канд. биол. наук *С.В. Соловьев*, *Д.А. Филимонова*  
канд. биол. наук *А.Н. Безбородова*, канд. биол. наук *Т.В. Нечаева*,  
канд. биол. наук *Г.Ф. Миллер*, *О.И. Сапрыкин*

**П65** **Почвы в биосфере** : сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. 10–14 сентября 2018 г., г. Новосибирск / отв. ред. А.И. Сысо. – Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. – Ч. I. – 468 с.

ISBN 978-5-94621-734-7

ISBN 978-5-94621-735-4 (отд. кн.)

В сборнике представлены материалы исследований в области почвоведения, генезиса, эволюции, экологии и географии почв. Рассматриваются вопросы, связанные с функционированием почв и их роли в биосфере.

Для специалистов, работающих в области почвоведения, агрохимии, экологии, охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, а также преподавателей вузов.

УДК 631.4  
ББК 40.3

*Издание вышло в свет при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-04-20066 з).*

ISBN 978-5-94621-734-7

ISBN 978-5-94621-735-4 (отд. кн.)

© Авторы статей, 2018

© Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 2018

© Томский государственный университет, 2018

**СЕКЦИЯ 1. ЗОНАЛЬНАЯ  
И ПРОВИНЦИАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКА  
ГЕНЕЗИСА И ЭВОЛЮЦИИ ПОЧВ**



## АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОРГАНОГЕННЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

Т.Н. Азаренок, С.В. Шульгина, Д.В. Матыченков, О.В. Матыченкова,  
Л.И. Шибут, С.В. Дыдышко

РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси, Минск, soil@tut.by

**Аннотация.** Приводятся результаты исследования по изменению состава и свойств осушенных органогенных почв сельскохозяйственных земель территории Белорусского Предполесья под влиянием антропогенного (пирогенного) воздействия.

**Ключевые слова:** осушенные сельскохозяйственные земли, органогенные торфяные почвы, антропогенная трансформация, выгоревшие торфяные и постторфяные почвы, свойства почв.

**Актуальность.** В современных условиях хозяйствования экономически выгодное землепользование возможно на основе тщательного и объективного количественного и качественного учета почвенных ресурсов. В настоящее время в республике проведены многочисленные исследования по изучению изменений состава, свойств, производительной способности маломощных торфяных низинных почв в результате длительного сельскохозяйственного использования с последующим формированием дегроторфяных почв с различным содержанием ОВ (50,0–5,1%) [1, 2]. Однако исследования о составе и свойствах органогенных почв, испытавших пирогенное воздействие в составе осушенных сельскохозяйственных земель республики, не носят системного характера, хотя ежегодно значительные площади осушенных торфяных почв различной мощности подвергаются пирогенной деградации. Особенно эта проблема характерна для хозяйств предполесской и полесской частей республики с высоким удельным весом торфяных почв в составе осушенных сельскохозяйственных земель. Поэтому исследования строения, состава и свойств осушенных торфяных почв сельскохозяйственных земель и их антропогенно-преобразованных аналогов для установления объективных количественных данных, характеризующих региональные особенности антропогенной трансформации осушенных органогенных почв для последующей оценки их агроэкологического состояния, представляются *актуальными*.

Цель исследований – установить особенности трансформации профиля органогенных почв сельскохозяйственных земель вследствие пирогенного воздействия и дать сравнительную количественную характеристику свойств исходных торфяно-глеевых, торфяных маломощных почв и образовавшимся на их месте антропогенно-преобразованным аналогам – выгоревшим торфяным и постторфяным почвам.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследований явились торфяные маломощные, торфяно-глеевые и выгоревшие торфяные почвы разных стадий антропогенной трансформации сельскохозяйственных земель ОАО «Следюки» Быховского района Могилевской области (Быховско-Ветковский почвенно-экологический район (ПЭР)). Полевые исследования морфологического строения почв, сформировавшихся на месте выгоревших торфяно-глеевых, торфяных низинных маломощных почв проводили в постпирогенный (7-летний период). Преобладающая растительность – канареечник.

Исследования выполнены на основе систематизации и анализа данных по фиксированным объектам, Почвенной Информационной Системе Беларуси (ПИСБ), данных крупномасштабного почвенного картографирования, проводимых почвенной службой РУП «Проектный институт Могилевгипрозем», на основе сравнительно-аналитического метода, метода рядов антропогенных изменений почв. Аналитические исследования выполнены по общепринятым методикам в лаборатории РУП «Институт почвоведения и агрохимии». Статистическую обработку данных проводили с помощью «Пакета анализа» Microsoft Excel.

**Обсуждение результатов исследования.** Выгоревшие торфяные почвы образуются в результате частичного или полного выгорания органогенных горизонтов торфяных почв в про-

цессе пожаров. При пожаре может происходить полное сгорание торфяной толщи до минеральной подстилающей породы или верхних слоев торфа, когда сохраняются нижние торфяные горизонты, которые пригодны для возделывания сельскохозяйственных растений в постпирогенный период [3]. Впервые на территории Беларуси выгоревшие торфяные почвы в составе сельскохозяйственных земель были выделены на крупномасштабных почвенных картах в результате проведения Штура почвенного картографирования (1986-2005 гг.) и в настоящее время отображаются при проведении работ по корректировке почвенного покрова осушенных земель. Согласно существующему Примерному номенклатурному списку почв Республики Беларусь (для целей крупномасштабного картографирования и кадастровой оценки сельскохозяйственных земель) [4], выгоревшие торфяные почвы нашли свое отражение в типе нарушенных почв с разделением на видовом уровне по остаточной мощности торфа – <0,5 м, 0,5–1,0 м и >1,0 м. Сюда же включен и подтип «выгоревшие постторфяные».

На территории сельскохозяйственных земель ОАО «Следюки в структуре торфяных почв, торфяно-глеевые почвы с мощностью торфа 0,3–0,5 м и торфяные маломощные с мощностью торфа 0,5–1,0 м занимают соответственно 26 и 39%. Выгоревшие торфяные и постторфяные почвы занимают более 83 га или 30% от общей площади нарушенных почв хозяйства. Наибольший удельный вес в общей площади распространения этих почв занимают выгоревшие торфяные с мощностью торфа <0,5 м – 41% и с мощностью торфа 0,5–1,0 м – 39% (рис. 1, 2).



Рис. 1. Структура торфяных почв по мощности на территории ОАО «Следюки» Быховского района, Могилевской области



Рис. 2. Структура выгоревших торфяных почв на территории ОАО «Следюки» Быховского района, Могилевской области

Морфологическое строение профиля объективно отражает направленность почвообразовательного процесса и дает наглядное представление об их экологическом состоянии. Характерным морфологическим признаком торфяных низинных почв, используемых в севооборотах, является наличие в профиле четко обособленного «оземленного» торфяного горизонта с достаточно хорошо выраженной структурой и содержанием органического вещества более 50%. Остатки торфообразующей растительности в нем визуальнo не наблюдаются. Залегает он на торфяном горизонте (Т), имеющим более низкую степень разложения органического вещества, сменяется по профилю оглеенным горизонтом  $B_g$  или глеевым горизонтом  $G_{сизоватой}$ , серовато-сизоватой, белесоватой окраски.

Анализ морфологического строения разреза 2П, характеризующего выгоревшие торфяные маломощные почвы с мощностью торфа 0,5–1,0 м, показал, что в профиле трансформированных почв диагностируется верхний пирогенно-измененный горизонт РРТ [5] буровато-черного цвета мощностью 25 см. В верхней части он состоит из слоя золы мощностью около 10 см, бурого цвета с примесью песка и углистого материала. Залегает на торфяных горизон-

тах естественного сложения мощностью 75 см. В выгоревших торфяных почвах мощностью <0,5 м (разрез 3П) на месте пахотного торфяного горизонта формируется пирогенно-измененный горизонт серо-черного цвета с включениями углистого материала, мощностью 36 см, в верхней части и представленный образованиями охристой золы мощностью 19 см, который подстилается глеевыми горизонтами сизовато-серого цвета. В выгоревших постторфяных почвах (разрез 4П) верхний пирогенно-измененный горизонт темно-серого цвета, рыхлый, бесструктурный. Представлен смесью оглеенного рыхлого песка с остатками обугленного торфа, в верхней части желто-охристая зола мощностью 17 см. Ниже залегает гумусированный горизонт (Н)неоднородной темно-серой окраски. Нижняя часть этого горизонта на глубине 55–60 см изменяет окраску на темно-бурую с ржаво-охристыми пятнами. Далее сменяется глеевым горизонтом сизовато-серого цвета.

Анализ показателей кислотности (рН в КС1) исследуемых почв показал, что и торфяно-глеевые и торфяные маломощные почвы как на территории ОАО «Следюки», так и в целом по исследуемому ПЭР характеризуются по степени кислотности как «близкие к нейтральным» (рН в КС1  $5,6 \pm 0,5$ – $5,8 \pm 0,5$ ,  $n=75$ )[6]. Показатели кислотности верхних частей пирогенно-измененных горизонтов разрезов 2П–4П, как выгоревших торфяных, так и выгоревших постторфяных почв, состоящих из золы, по показателям кислотности характеризуются как «слабощелочные» (рН в КС1 7,8–7,9). Это обусловлено повышенным содержанием углекислого калия и других соединений щелочноземельных металлов в золе [7]. В пирогенно-измененном горизонте выгоревшей торфяной почвы с мощностью торфа 0,5–1,0 м на глубине 25–35 см показатель кислотности повышается до 5,3 и далее вниз по профилю несколько снижается до 5,8. Для пирогенно-измененного горизонта выгоревшей торфяной почвы с мощностью торфа <0,5 м (разрез 3П) миграция зольных элементов прослеживается до глубины 50 см, в разрезе 4П – до 25 см, что обуславливает «слабощелочную реакцию» рН в КС1 (показатели кислотности нижележащих горизонтов в пределах этих глубин составили 7,1–7,2). Глубже 50 см показатели кислотности характеризуются как «близкие к нейтральным». Значения гидролитической кислотности пирогенно-измененного горизонта разреза 2П близки к средним значениям торфяных почв исследуемой территории и ПЭР. В пирогенно-измененных горизонтах 3П и 4П показатели гидролитической кислотности колеблются от 0,2 до 1,0 смоль (+)  $\text{кг}^{-1}$ . В нижележащих минеральных глеевых горизонтах этих же разрезов показатели аналогичны, что свидетельствует о глубокой трансформации органогенной части исследуемых почв. По показателю суммы поглощенных оснований максимальные значения характерны для верхней зольной части и самих пирогенно-измененных горизонтов: 99,7–89,9 (разрез 2П), 48,4–39,9 (разрез 3П) и 48,6 смоль (+)  $\text{кг}^{-1}$  (разрез 4П). Постепенно эти показатели снижаются вниз по профилю, достигая минимальных значений в глеевых горизонтах. Емкость поглощения для пирогенно-измененных горизонтов выгоревших торфяных почв с мощностью торфа 0,5–1,0 м близка по значениям с таковыми показателями торфяных почв ПЭР 99,7–140,1 смоль (+)  $\text{кг}^{-1}$  против  $143,1 \pm 63,0$  ( $n=75$ ). Для пирогенно-измененного горизонта разреза 3П значения уменьшились в 2 раза и составили 48,4–40,5 смоль (+)  $\text{кг}^{-1}$ , для зольной части пирогенно-измененного горизонта разреза 4П значения составили 48,6, а для гумусированного горизонта Н –49,7 смоль (+)  $\text{кг}^{-1}$  соответственно. Минимальные значения этого показателя характерны для глеевых горизонтов 3,1–14,1 смоль (+)  $\text{кг}^{-1}$  (для глеевых горизонтов торфяных почв ПЭР значения составили  $15,9 \pm 12,4$ ,  $n=8$ ). Степень насыщенности основаниями зольного слоя выгоревших торфяных почв имеет максимальные значения – 100%. Для пирогенно-измененных горизонтов разрезов 3П–4П ее значения вниз по профилю уменьшаются, изменяясь с 98,4–98,6 до 86,9–95,7%. В разрезе 2П значения степени насыщенности для пирогенно-измененного горизонта (РРТ) и торфяного (Т), также приближены к таковым значениям по ПЭР – 64,1–69,4% против  $69,8 \pm 16,0$  ( $n=75$ ),  $76,3 \pm 12,8$  ( $n=30$ ) по сравнению с выгоревшей торфяной маломощной.

Исходя из анализа вышеизложенных агрохимических показателей можно констатировать «среднюю» степень изменения органогенных горизонтов разреза 2П (исходная торфяно-маломощная) и «очень сильную» разреза 4П (на месте органогенного горизонта образовался

слой золы). Для разреза 3П характерна сильная степень изменения (под слоем золы образовался пирогенно-измененный торфяной горизонт мощностью 17 см).

Для оценки плодородия рассмотрим показатели подвижных форм фосфора и калия в изучаемых почвах. Максимальные значения подвижных форм фосфора ( $P_2O_5$ ) характерны для верхней части пирогенно-измененных почв, где расположен слой золы, и изменяются от 9768 мг/кг в горизонте РРТ разреза 2П до 367 мг/кг в аналогичном горизонте разреза 4П. Аналогичная тенденция изменения и по показателям подвижного калия ( $K_2O$ ): от 220,1 до 30,3 мг/кг. В других горизонтах исследуемых почв значения показателей по подвижному фосфору и калию оцениваются как «очень низкие» и «низкие». В целом по ПЭР торфяные почвы, не подвергшиеся пирогенному воздействию, характеризуются среднестатистическими значениями подвижного фосфора  $229,2 \pm 170,3$  ( $n=55$ ) для горизонта  $A_{тп}$  (торфяного пахотного) и  $188,3 \pm 157,7$  ( $n=103,1$ ) для торфяного горизонта Т и оцениваются как «низкие» и «очень низкие». По содержанию подвижного калия – «низкое» (значения составили  $221,8 \pm 118,5$  ( $n=56$ ) и  $202,5 \pm 103,1$  ( $n=56$ )). В глеевых горизонтах содержание подвижного фосфора и калия «очень низкое» –  $142,9 \pm 94,8$  и  $68,4 \pm 34,4$  ( $n=8$ ) соответственно. В пирогенно-измененных горизонтах содержание органического вещества (ОВ) изменяется от 16,6% в разрезе 2П до 0,5% в разрезах 3П и характеризуется как «низкое» и «очень низкое». Среднестатистические значения содержания ОВ для пахотных горизонтов торфяно-глеевых и торфяных маломощных почв исследуемой территории составили  $92,2 \pm 1,7\%$  ( $n=13$ ), ниже лежащих торфяных –  $84,6 \pm 7,7$  ( $n=5$ ). Для гумусированного горизонта разреза 4П содержание гумуса составило 3,1–6,5%, что связано с передвижением по почвенному профилю гумусовых соединений, образовавшихся в результате пирогенного воздействия на органогенные горизонты. Для глеевых горизонтов разрезов 3П и 4П содержание гумуса колебалось от 0,3 до 0,5%.

Трансформация осушенных торфяных почв в антропогенно-преобразованные выгоревшие торфяные и постторфяные проявляется через систему диагностических морфологических, агрохимических показателей, которые находят отражение в шкале оценочных баллов.

В новой шкале оценочных баллов плодородия почв, разработанной для очередного Птура кадастровой оценки сельскохозяйственных земель республики, проведенного в 2009–2015 гг. [8], торфяные почвы пахотных земель с мощностью торфяного слоя 0,5–1,0 м (маломощные) по 100-балльной шкале, принятой в Беларуси, оценены в среднем для всех культур в 60,7 балла. По мере уменьшения мощности торфяного слоя (до 0,3–0,5 м) балл снижается: для торфяно-глеевых (0,3–0,5 м) до 54,4, торфянисто-глеевых (0,2–0,3 м) до 40,4 баллов. Балльная оценка выгоревших торфяных почв, образовавшихся на месте торфяно-глеевых низинных и торфяных маломощных почв позволила установить снижение производительной способности пирогенно-измененных почв, которая изменяется в зависимости от остаточной мощности органогенного горизонта от 43,8 (мощность торфа 0,5–1,0 м) до 34,3 (мощность торфа <0,5 м). Выгоревшие постторфяные почвы оценены в 28,2 балла. Наиболее низкими баллами исследуемые почвы оценены для луговых естественных земель 14–17 баллов. В целом показатели плодородия выгоревших торфяных и постторфяных почв в 1,5–2 раза ниже торфяных почв, не подвергшихся антропогенному воздействию.

**Заключение.** Проведенные исследования позволили установить, что в результате пирогенного воздействия происходит скачкообразная трансформация органогенных почв, выражающаяся в:

- формировании новых почвенных объектов – антропогенно-преобразованных почв (выгоревших торфяных и выгоревших постторфяных), ранее не существовавших в природных условиях, характеризующихся разной степенью преобразования морфологического профиля выражающееся в уничтожении ранее существовавших органогенных горизонтов и в образовании специфических пирогенно-измененных горизонтов;

- для исследуемых выгоревших торфяных и постторфяных почв установлено, что по сравнению с исходными аналогами, показатели кислотности рН в КС изменяются от «близких к нейтральным» до «слабощелочной», суммы поглощенных оснований, емкости поглощения снижаются в 1,1–2,5 и 1,1–3,5 раза, содержание органического вещества уменьшается в 5–180 раз, содержание подвижных форм фосфора и калия – в 2–3 раза;



– исходя из анализа морфологических и агрохимических показателей, можно констатировать «среднюю» степень изменения органогенных горизонтов разреза 2П, «сильную» разреза 3П и «очень сильную» для разреза 4П;

– балл бонитета выгоревших торфяных и постторфяных, подстилаемых песками, сформировавшихся на месте торфяно-глеевых и торфяных маломощных, снижается в 2–5 раз, что подтверждает деградиационную направленность изменения торфяных почв в результате пирогенных воздействий.

### Литература

1. Семененко Н.Н. Торфяно-болотные почвы Полесья. Трансформация и пути эффективного использования. Минск: Беларуская наука, 2015. 282 с.
2. Азаренок Т.Н., Шульгина С.В. Агроэкологические особенности антропогенной трансформации состава и свойств осушенных агроторфяных почв Беларуси // Земледелие и защита растений. 2016. № 5 (108). С. 3–6.
3. Цытрон Г.С. Антропогенно-преобразованные почвы Беларуси. Минск, 2004. 124 с.
4. Примерный номенклатурный список почв / Г.С. Цытрон [и др.] Минск, 2013. 64 с.
5. Смеян Н.И., Цытрон Г.С. Классификация, диагностика и систематический список почв Беларуси. Минск, 2007. 220 с.
6. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: методические указания / И.М. Богдевич [и др.]; под ред. И.М. Богдевича. Минск, 2012. 48 с.
7. Зайдельман Ф.Р. Банников М.В., Шваров А.П. Пирогенные образования на месте сгоревших торфяных почв – свойства и плодородие // Почвоведение. 1999. № 9. С. 1150–1159.
8. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств. Содержание и технология работ. Минск, 2011. С. 43–44.

### ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF ORGANOGENIC SOILS OF BELARUS

T.N. Azarenok, S.V. Shulgina, D.V. Matychenkov, O.V. Matychenkova, L.I. Shibut, S.V. Dydysenko

RUE "Institute of Soil Science and Agrochemistry" of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, soil@tut.by

**Summary.** *The results of a study on the changes in the composition and properties of dried organic soils of agricultural lands in the Belorussian Predpolesye area under the influence of anthropogenic (pyrogenic) effects are presented.*

**Keywords:** *drained agricultural lands, organogenic peat soils, anthropogenic transformation, burned peat and post-turf soils, anthropogenic transformation, soil properties.*

## ОСОБЕННОСТИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДЕРНОВО-ПАЛЕВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЛЕГКОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ, РАЗВИВАЮЩИХСЯ НА МОЩНЫХ ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКАХ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ АГРОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

С.В. Дыдышко, Т.Н. Азаренок, С.В. Шульгина

Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, Беларусь, Минск, soil@tut.by

*Аннотация.* В статье представлены особенности распределения основных фракций гранулометрического состава дерново-палево-подзолистых почв, развивающихся на мощных лессовидных суглинках разной степени агрогенной трансформации на примере Новогрудско-Слуцкого и Оршанско-Мстиславского почвенно-экологических районов.

**Ключевые слова:** гранулометрический состав, мелкий песок, крупная пыль, физическая глина, ил, почвообразующая порода.

**Актуальность.** В связи с усиливающимся антропогенным воздействием на почвенный покров происходит изменение не только наиболее динамичных агрохимических свойств почв, но и такой консервативной составляющей как гранулометрический состав. Так, в результате многолетних процессов окультуривания отмечается перераспределение основных фракций гранулометрического состава в пахотных почвах по сравнению с естественными аналогами, и в пахотных горизонтах относительно почвообразующей породы. Особый интерес представляет илистая фракция, которая концентрирует основную массу органического вещества (55–90%) и выступает фактором его аккумуляции и стабилизации [1]. Одни авторы отмечают накопление илистой фракции в верхней части профиля [2], другие, наоборот, приходят к выводу, что ил вымывается из пахотных горизонтов и накапливается в нижней части профиля [3–5], что негативно сказывается на производительности почв. Поскольку гранулометрический состав является одной из важнейших характеристик почв, оказывает влияние на свойства и питательный режим почв, непосредственно влияет на характер, направленность и скорость почвообразовательных процессов, формирование почвенного плодородия, то и цель данной работы заключается в выявлении перераспределения основных фракций гранулометрического состава пахотных почв по сравнению с их естественными аналогами.

**Объекты и методы исследования.** В качестве объектов наших исследований были выбраны дерново-палево-подзолистые почвы, сформировавшиеся на лессовых и лессовидных суглинках различной степени антропогенной трансформации. Исследуемые почвы занимают около 14% пахотных земель [6] и являются самыми плодородными и наиболее интенсивно используемыми в сельскохозяйственном производстве. Катены заложены в почвенно-экологических районах с широким распространением этих почв в составе лесных и пахотных земель – Новогрудско-Слуцком и Оршанско-Мстиславском:

– катена, характеризующая дерново-палево-подзолистую окультуренную почву суглинистого гранулометрического состава (разрез 18–17, 19–17) и среднесмытый аналог (разрез 20–17), заложена на пахотных землях СПК «Маяк-Заполье» Кореличского района, а их естественный аналог (разрез 21–17) в лесу на территории ГЛХУ «Новогрудский лесхоз» Новогрудского района Гродненской области;

– катена, характеризующая дерново-палево-подзолистую окультуренную почву суглинистого гранулометрического состава (разрез 13–17, 17–17) и среднесмытый аналог (разрез 16–17), заложена на пахотных землях СПК «Знамя труда» Мстиславского района, а их естественный аналог (разрез 12–17) в лесу на территории ГЛХУ «Горецкий лесхоз» Мстиславского района Могилевской области.

Гранулометрический состав исследуемых почвенных образцов определялся методом пипетки (по Н.А.Качинскому) в 3-кратной повторности. Баланс фракций мелкого песка, круп-

ной пыли, физической глины и ила (относительного процента потери (–) и накопления (+) основных фракций по отношению к содержанию их в почвообразующей породе) рассчитывался по формуле Б.Г. Розанова [7]:

$$\frac{A_{in} - A_{io}}{A_{io}} \times 100,$$

где  $A_{in}$  – процентное содержание мелкого песка/крупной пыли/физической глины/ила в  $n$ -ном горизонте,  $A_{io}$  – процентное содержание мелкого песка/крупной пыли/физической глины/ила в почвообразующей породе. Статистическая обработка данных выполнена с помощью «Пакета анализа Microsoft Excel».

**Обсуждение результатов.** Результаты исследований (таблица 1) показали, что и для естественных почв, и для их пахотных аналогов характерно преобладание по всему профилю фракции крупной пыли (0,05–0,01 мм). Максимальное содержание этой фракции в естественной почве Оршанско-Мстиславского ПЭР наблюдается в почвообразующей породе ВС на глубине 95–105 см – 77,6%, а в Новогрудско-Слуцком ПЭР – в иллювиальном горизонте В на глубине 85–95 см – 53,3 %. Минимальное содержание крупной пыли отмечается в гумусовом горизонте  $A_1$  либо в гумусово-элювиальном горизонте  $A_1A_2$  в верхней части профиля. Т.е., для естественных почв характерно увеличение содержания крупной пыли вниз по профилю. В окультуренных аналогах отмечается неравномерное распределение данной фракции по профилю с максимальным накоплением в пахотных горизонтах и почвообразующей породе и с минимальным содержанием в средней части профиля. Так, в окультуренных почвах Новогрудско-Слуцкого ПЭР содержание фракции крупной пыли в пахотном горизонте  $A_{II}$  на глубине 5–15 см составляет 47,8% и в почвообразующей породе ВС на глубине 75–85 см – 46,0%; а в Оршанско-Мстиславском ПЭР содержание крупной пыли в пахотном горизонте  $A_{II}$  на глубине 5–15 см составляет 72,1% и в почвообразующей породе ВС 71,5% на глубине 95–105 см. Для среднесмытых почв Оршанско-Мстиславского и Новогрудско-Слуцкого ПЭР характерно преобладание фракции крупной пыли по всему профилю с максимальным значением в почвообразующей породе ВС – 79,1 и 47,9% соответственно.

Наибольшее содержание фракции мелкого песка (0,25–0,05 мм) характерно для почв Новогрудско-Слуцкого ПЭР, причем в естественной почве его содержание снижается вниз по профилю, а в окультуренных аналогах распределяется равномерно по всей почвенной толще с максимальным значением в иллювиальном горизонте  $V_t$  на глубине 65–75 см – 34,3%. В Оршанско-Мстиславском ПЭР наибольшее содержание мелкого песка характерно для окультуренных почв с максимальным значением в горизонте  $A_1$  на глубине 25–30 см – 20,0 %, а в нижней части почвенного профиля его содержание снижается.

По содержанию физической глины (< 0,01 мм) и ила (< 0,001 мм) и в естественных почвах и в их пахотных и среднесмытых аналогах наблюдается четкая дифференциация по профилю с максимальным накоплением данных фракций в иллювиальном горизонте  $V_t$ . Следует отметить, что максимальное накопление физической глины и ила в почвах под лесом наблюдается на глубине до 50–55 см, а в пахотных аналогах на глубине 55–75 см, т.е. в окультуренных почвах происходит увеличение мощности элювиальной части профиля по сравнению с естественными. Так, в естественной почве Оршанско-Мстиславского ПЭР максимальное накопление физической глины (23,9%) и ила (18,5%) отмечается на глубине 30–40 см, а в пахотных – на глубине 55–65 см (26,1 и 17,0% соответственно), а в естественной почве Новогрудско-Слуцкого ПЭР максимальное накопление физической глины (29,2%) и ила (22,6%) отмечается на глубине 45–55 см, а в окультуренных – на глубине 65–75 см (26,0 и 17,6% соответственно). В среднесмытых почвах Оршанско-Мстиславского и Новогрудско-Слуцкого ПЭР максимальное накопление данных фракций также отмечается в иллювиальном горизонте  $V_t$  на глубине 35–45 см: физической глины – 22,8 и 31,4% и ила – 16,4 и 22,1% соответственно.

Динамика гранулометрического состава дерново-палево-подзолистых почв, развивающихся на мощных лессовидных суглинках

Разрез	Генетический горизонт	Глубина отбора образца, см	Хряц >3	Гравий (3-1)	Размер фракций (мм) и их количество в % на абсолютно сухую почву						Физическая глина (менее 0,01)			В т. ч.	
					Песок			Пыль крупная (0,05-0,01)	Пыль средняя (0,01-0,005)	пыль мелкая (0,005-0,001)	пыль средняя (0,01-0,005)	пыль мелкая (0,005-0,001)	ил (менее 0,001)		
					крупный (1-0,5)	средний (0,5-0,25)	мелкий (0,25-0,05)								
Оршанско-Мстиславский почвенно-экологический район															
12-17	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	10-15				6,1±1,9			73,2±1,0	20,7±1,0	5,5±0,3	2,4±0,5	12,8±0,7		
12-17	B <sub>t</sub>	30-40				0,5±0,3			75,6±0,8	23,9±0,5	1,4±0,5	4,0±0,9	18,5±0,8		
12-17	B	50-60				0,6±0,5			76,5±0,2	22,9±0,4	2,1±1,1	3,8±0,8	17,2±0,5		
12-17	BC	95-105				0,6±0,2			77,6±0,6	21,8±0,4	6,4±0,9	0,9±0,6	14,5±0,6		
13/17-17	A <sub>п</sub>	5-10			1,0	6,5±4,3			72,1±3,7	20,7±1,2	7,3±0,2	7,0±1,0	6,3±2,3		
13/17-17	A <sub>1</sub>	25-30			1,0	20,0 ±1,0			58,3±1,7	20,7±0,5	6,4±0,3	7,9±0,2	6,4±0,4		
13/17-17	B <sub>t</sub>	55-65				11,7±4,1			60,6±2,0	26,1±1,1	3,5±1,1	5,7±0,2	17,0±0,3		
13/17-17	B	60-70				18,6±3,6			65,8±1,4	22,5±0,7	2,1±1,2	5,8±0,6	14,8±0,8		
13/17-17	BC	95-105				9,6±9,9			71,5±1,6	18,9±1,0	2,6±1,4	4,5±1,7	11,7±0,6		
16-17	A <sub>п</sub> B	5-10				0,9±0,1			76,4±1,4	21,7±0,9	5,7±0,5	0,7±0,2	14,8±0,8		
16-17	B <sub>t</sub>	35-40				0,8±0,2			77,4±1,0	22,8±1,0	4,5±0,6	2,4±0,4	16,4±0,8		
16-17	BC	95-100				1,5±0,2			79,1±0,8	19,4±1,0	3,0±1,3	4,8±1,8	11,6±0,5		
Новогрудско-Слудский почвенно-экологический район															
21-17	A <sub>1</sub>	3-5			2,73	33,1±0,5			40,9±0,9	23,3±1,1	5,6±0,5	5,7±0,8	12,0±0,6		
21-17	A <sub>2</sub>	10-20			0,10	32,3±0,6			48,8±0,9	19,0±0,7	6,1±1,0	5,3±0,5	7,6±0,5		
21-17	B <sub>t</sub>	45-55				19,5±0,6			51,3±0,8	29,2±0,7	3,8±0,7	2,8±0,4	22,6±0,9		
21-17	B	85-95				27,1±2,6			53,3±0,8	19,6±3,4	5,3±0,1	3,4±1,2	10,9±2,3		
21-17	BC	110-120				22,6±3,5			51,9±3,6	25,5±0,1	5,2±0,6	5,5±0,3	14,8±0,5		
18/19-17	A <sub>п</sub>	5-10			0,8	29,5±6,3		0,8	47,8±6,9	21,5±0,6	6,7±1,8	7,9±2,3	7,0±1,3		
18/19-17	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	30-37			0,4	32,5±2,0		0,4	47,4±2,3	19,5±0,8	5,7±2,2	6,3±2,5	7,5±0,9		
18/19-17	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	37-42			0,1	34,0±2,1		0,1	40,3±0,9	25,6±1,3	4,5±0,7	3,6±1,4	17,5±0,6		
18/19-17	B <sub>t</sub>	65-75			0,1	34,3±1,9		0,1	39,6±1,3	26,0±0,6	4,9±2,7	3,5±1,2	17,6±1,8		
18/19-17	BC	75-85			-	32,4±3,1		-	46,0±0,1	21,6±2,9	5,7±3,4	2,1±1,9	13,8±1,6		
20-17	A <sub>п</sub> B	5-10			2,1	29,5±0,6		0,2	44,3±1,7	23,9±1,2	5,2±0,7	3,8±2,1	14,9±1,6		
20-17	B <sub>t</sub>	33-43			2,9	18,1±0,8		0,1	46,9±1,9	31,4±1,0	4,4±0,7	4,9±1,1	22,1±0,7		
20-17	BC	60-65			1,5	23,5±0,6		0,1	47,9±1,3	27,0±0,9	3,0±0,6	5,3±0,5	18,7±0,6		

Расчеты баланса основных фракций гранулометрического состава (табл. 2) исследуемых почв показали, что в окультуренных почвах по сравнению с естественными с увеличением глубины наблюдается положительный баланс фракций мелкого песка, физической глины и ила и отрицательный баланс крупной пыли относительно их содержания в почвообразующей породе. Но наибольшие изменения отмечены в перераспределении илистой фракции. Так, в верхней части профиля естественных, окультуренных почв и их среднесмытых аналогов (гумусово-элювиальные и пахотные горизонты) наблюдается вымывание илистых частиц и, соответственно, его накопление в нижней части профиля (иллювиальный и текстурный горизонты).

Также следует отметить, что в окультуренных почвах с увеличением мощности элювиальной части профиля отмечается и значительное увеличение выноса ила. Так, если в естественной почве Оршанско-Мстиславского ПЭР баланс ила на глубине 10–15 см составляет –11,7%, то в окультуренных почвах –46,2%; а в Новогрудско-Слуцком ПЭР баланс ила составляет –18,9% и –49,3% соответственно.

Т а б л и ц а 2

**Баланс основных фракций гранулометрического состава исследуемых почв относительно их содержания в почвообразующей породе, %**

Размер фракций (мм) и их количество в % на абсолютно сухую почву						
Разрез	Генетический горизонт	Глубина отбора образца, см	Песок мелкий (0,25–0,05)	Пыль крупная (0,05–0,01)	Физическая глина (менее 0,01)	ил (менее 0,001)
Оршанско-Мстиславский почвенно-экологический район						
12–17	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	10–15	+916,7	–5,7	–8,3	–11,7
12–17	B <sub>t</sub>	30–40	–16,7	–2,6	+9,6	+27,6
12–17	B	50–60	–	–1,4	+5,0	+18,6
12–17	BC	95–105	–	–	–	–
13/17–17	A <sub>п</sub>	5–10	–32,3	+0,8	+9,5	–46,2
13/17–17	A <sub>1</sub>	25–30	+108,3	–18,5	+9,5	–45,3
13/17–17	B <sub>t</sub>	55–65	+21,9	–15,2	+38,1	+45,3
13/17–17	B	55–65	+93,8	–8,0	+19,0	+26,5
13/17–17	BC	95–105	–	–	–	–
16–17	A <sub>п</sub> B	5–10	–46,7	–2,1	+11,9	+27,6
16–17	B <sub>t</sub>	35–40	–40,0	–3,4	+17,5	+41,6
16–17	BC	95–100	–	–	–	–
Новогрудско-Слуцкий почвенно-экологический район						
21–17	A <sub>1</sub>	3–5	+46,5	–21,2	–8,6	–18,9
21–17	A <sub>2</sub>	10–20	+42,9	–6,0	–25,5	–48,6
21–17	B <sub>t</sub>	45–55	–13,7	–1,2	+14,5	+52,7
21–17	B	85–95	+19,9	+2,7	–23,1	–26,4
21–17	BC	110–120	–	–	–	–
18/19–17	A <sub>п</sub>	5–10	–9,0	+3,9	–0,5	–49,3
18/19–17	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	30–37	+0,3	+3,0	–9,7	–45,7
18/19–17	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	37–42	+4,9	–12,4	+18,5	+26,8
18/19–17	B <sub>t</sub>	65–75	+5,9	–13,9	+20,4	+27,5
18/19–17	BC	75–85	–	–	–	–
20–17	A <sub>п</sub> B	5–10	+25,3	–7,5	–11,5	–20,3
20–17	B <sub>t</sub>	33–43	–23,0	–2,1	+16,3	+18,2
20–17	BC	60–65	–	–	–	–

**Выводы.** Интенсивное антропогенное воздействие на почвенный покров и, в частности, на дерново-палево-подзолистые почвы, развивающиеся на мощных лессовидных суглинках приводит к изменению не только наиболее динамичных свойств почвы, но и оказывает существенное влияние на изменение такой консервативной составляющей характеристики почвы, как ее гранулометрический состав. Трансформация гранулометрического состава почв заключается в перераспределении его основных фракций (крупной пыли и особенно ила) и частично мелкого песка и физической глины.

Для естественных почв, как и для их пахотных аналогов характерно преобладание фракции крупной пыли, причем в лесных и среднесмытых почвах она накапливается с глубиной, а в окультуренных аналогах – неравномерно распределяется по профилю с максимальным накоплением в пахотных горизонтах. Максимальное накопление физической глины и ила в почвах под лесом и в среднесмытых аналогах наблюдается на глубине до 50–55 см, а в пахотных аналогах на глубине 55–75 см, т.е., в окультуренных почвах происходит увеличение мощности элювиальной части профиля по сравнению с естественными. Элювиальный процесс почвообразования постепенно замещает иллювиальный, захватывая более глубокие слои профиля вплоть до вовлечения почвообразующей породы в почвообразовательный процесс.

Методом баланса установлено, что в окультуренных почвах в верхней части профиля происходит значительное вымывание ила (–46,2% в Оршанско-Мстиславском ПЭР и –49,3% в Новогрудско-Слуцком ПЭР) относительно почвообразующей породы, что в 4–2,5 раза больше по сравнению с естественными почвами – –11,7 и –18,9% соответственно.

### Литература

1. Травникова Л.С., Шаймухаметов М.Ш. Продукты органо-минерального взаимодействия и устойчивость почв к деградации // Современные проблемы почвоведения. М., 2000. С. 356–368.
2. Канев В.В., Мокиев В.В. Трансформация свойств подзолистых почв подзоны средней тайги при освоении и окультуривании // Почвоведение. 2008. № 3. С. 349–359.
3. Туренков Н.И. Палево-подзолистые почвы Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1980. 216 с.
4. Горбачева Е.В. Агроемы культурные и их качественная оценка: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Минск, 2012. 21 с.
5. Градусов Б.П. Факторы и процессы увеличения ила в пахотных горизонтах дерново-подзолистых суглинистых почв // Почвоведение и агрохимия. 2005. № 1 (34). С. 93–95.
6. Матыченков, Д.В. Агрогенная трансформация дерново-подзолистых почв, сформировавшихся на лессовидных суглинках: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Минск, 2003. 16 с.
7. Розанов Б.Г. Генетическая морфология почв. М.: Изд-во Московского ун-та, 1975. 293 с.

### OF THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF THE GRAIN-PALE-PODZOLIC LIGHT-SOUGHERLANIC SOILS DEVELOPING ON THE POWERFUL LESSEVIDE SOILS OF A DIFFERENT DEGREE OF AGROGENIC TRANSFORMATION

S.V. Dydyshka, T.N. Azarenok, S.V. Shul'gina

Institute of Soil Science and Agrochemistry of NAS of Belarus, Minsk, soil@tut.by

**Summary.** *The article presents the features of the distribution of the main fractions of the granulometric composition of sod-pale-podzolic soils developing on powerful loess-like loams of different degrees of agrogenic transformation by the example of Novogrudok-Slutsk and Orsha-Mstislavsky soil-ecological regions.*

**Keywords:** *granulometric composition, fine sand, coarse dust, physical clay, silt, soil-forming rock.*

## БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ФИТОМАССЫ ЮЖНО-ТАЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА

П.Р. Енчилик, Е.Н. Асеева, И.Н. Семенов, Е.В. Терская, Н.С. Касимов

Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, polimail@inbox.ru

**Аннотация.** На основе определения в фитомассе и почвах валовых концентраций Ti, Fe, Mn, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Sr, Pb, Cd и расчета биогеохимических коэффициентов проанализирована биогеохимическая дифференциация лесных сообществ катены в южной части Центрально-Лесного заповедника, выявлена роль растений травянистого и древесного ярусов в биогенной миграции химических элементов. Основную роль по включению в БИК биофильных Mn, Zn, Co в изученных лесных сообществах выполняет древесный ярус, а слабо поглощаемых Fe, Ti, Cr, Zr, Pb – сфагновый мох и травянистые растения.

**Ключевые слова:** катена, микроэлементы, хвойно-широколиственные сообщества, биогеохимическая специализация, фотосинтезирующие органы растений, биогеохимическая активность видов.

**Введение.** Растения поглощают микроэлементы и накапливают их в своих тканях неравномерно и с разной интенсивностью в зависимости от свойств самих элементов, физиологических потребностей, видовой геохимической специализации и наличия барьерных механизмов поглощения. При техногенных воздействиях на ландшафт растения адаптируются, защищая клеточный метаболизм от вредного влияния избыточных количеств тяжелых металлов. В связи с усилением техногенной нагрузки на ландшафты все более актуальны биогеохимические исследования эталонных природных систем, где можно проследить естественный обмен микроэлементами между живыми и биокосными компонентами ландшафта. Интенсивность поглощения Cu, Zn, Pb, Fe, Mn растениями разных ярусов в фоновых лесных ландшафтах оценивали, например, в юго-восточной части Смоленско-Московской возвышенности [1]; Zn и Cd – в тканях древесных растений юго-запада Мещерской низменности [2], Zn, Cu, Mn и Fe – в подзолистых почвах, подстилках и растениях Центрально-лесного заповедника [3]. Настоящее исследование посвящено анализу биогеохимической дифференциации эталонных лесных ландшафтов Центрально-лесного заповедника с использованием данных о концентрациях в фитомассе и почвах широкого спектра микроэлементов (Mn, Fe, Cu, Zn, Ni, Ti, Cr, Co, Zr, Sr, Pb и Cd), характеризующихся разной степенью биофильности. В задачи исследования входила оценка: (1) специфических черт химического состава различных растений и их органов, (2) биогенной миграции элементов в системе «растения – почва» и выявление групп элементов, активно участвующих в биологическом круговороте, и (3) вовлечения микроэлементов разными видами растений в БИК.

**Объект исследования.** Объектом исследования является катена в южной части ядра Центрально-Лесного заповедника, природный комплекс которого является первичным биогеоценоотическим покровом моренного рельефа центра Восточно-Европейской равнины. В заповеднике из-за уплощенности рельефа господствуют леса южно-таежного типа и интразональные болотные и полуболотные ландшафты, а зональные хвойно-широколиственные сообщества занимают 17% площади [4].

Изученная катена имеет юго-восточную экспозицию и длину 187 м, начинается на вершине моренного холма с абсолютной высотой 265,3 м (N56°27'48.7"; E32°57'45"), пересекает пологий склон (1–2°) и заканчивается в полугидроморфном ландшафте плоской террасовидной поверхности с абсолютной высотой 262,5 м (N56°27'48,0"; E32°56'21,1"). Катена сложена однородным почвообразующим субстратом – покровными суглинками, подстилаемыми на 90–120 см мореными остаточными карбонатными. Реакция среды почв находится в диапазоне от сильнокислой в верхней части профиля (pH=4,2) до слабощелочной в породе (pH=7,5). Несмотря на небольшие уклоны и малую протяженность, вдоль катены хорошо выражена

дифференциация почвенно-растительного покрова. Смена почв и растительных сообществ вдоль катены связана с изменением гидротермических условий.

В относительно хорошо дренируемых позициях в автономном ландшафте катены (ЦЛЗ-0) сформировались грубогумусированные палево-глубокоподзолистые почвы, на которых произрастает липово-еловое лещиново-кисличное растительное сообщество с кленом остролистным *Ácer platanoídes* L. и вязом шершавым *Ulmus glábra* Huds.; подлесок представлен лещиной обыкновенной *Corylus avellana* L.; в напочвенном покрове в месте заложения разреза доминирует кислица *Oxalis acetosella* L., также произрастает орляк обыкновенный *Pterídium aquilinum* L., присутствуют неморальные виды (*Stellaria holostea* L., *Anémone nemorósa* L., *Lámium galeóbdolon* L.).

На выпуклом склоне, в трансэлювиальном ландшафте (ЦЛЗ-1) формируются маломощные дерново-палево-глубокоподзолистые почвы, на которых произрастает елово-широколиственный лес. Среди широколиственных пород преобладает липа сердцевидная; в подлеске доминирует лещина обыкновенная, встречается жимолость лесная *Lonicera xylosteum* L.; напочвенный покров в основном представлен неморальными видами (*Hepatica nobilis* L., *Galium odoratum* L., *Lámium galeóbdolon* L., *Ásarum europaéum* L., *Pulmonária obscura* L.); в травяно-кустарничковом ярусе также произрастают: орляк обыкновенный, хвощ лесной *Equisétum sylváticum* L., кислица обыкновенная, встречается черника обыкновенная *Vaccínium myrtíllus* L.

У подножья склона (разрез ЦЛЗ-3/1) в трансэлювиально-супераквальном ландшафте на мелко-торфянисто-перегнойных глубокоподзолистых профильно-оглеенных почвах произрастает чернично-сфагновый ельник с подростом из липы сердцевидной и клена остролистного; подлесок представлен рябиной обыкновенной *Sorbus aucuparia* L.; в травяно-кустарничковом ярусе доминирует черника обыкновенная; мозаичный моховой покров из Сфагнума *Sphagnum* sp. При нарастании увлажненности (разрез ЦЛЗ-3) формируются мелко-торфянистые глубокоподзолистые профильно-оглеенные почвы, на которых произрастает кислично-сфагновый ельник с ивой козьей *Sálix cáprea* L.; присутствует обильный подрост ели обыкновенной и липы сердцевидной и малочисленный – клена остролистного. Подлесок представлен рябиной обыкновенной. На приствольных повышениях произрастает кислица обыкновенная, также черника обыкновенная и орляк обыкновенный; моховой ярус представлен Сфагнумом.

**Материалы и методы исследования.** В растениях (70 проб, 19 видов) и почвах (30 образцов) определяли валовое содержание элементов в аналитическом центре Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им. Федоровского (ВИМС) масс-спектрометрическим методом на спектрометре Elan-6100.

Для выявления специфических черт химического состава растений вычисляли относительное содержание химических элементов в видах растений ОСВР (отношение содержания элемента в изучаемом виде к содержанию в листьях липы сердцевидной), а для анализа распределения химических элементов по органам – показатель относительного содержания элементов в золе органов растений ОСОР (отношение содержания элемента в изучаемом органе растения к содержанию в эталонном органе – крупных ветках) [5]. Для оценки активности извлечения микроэлементов из почв растениями рассчитывали коэффициент биологического поглощения  $A_x$  (для отдельных видов древесного яруса и всей совокупности растений травянистого яруса; по содержанию в золе растений к среднему валовому содержанию в почве), суммарной интенсивности вовлечения элементов в БИК различными видами растений – показатель биогеохимической активности вида (БХА – сумма коэффициентов биологического поглощения отдельных элементов) [6]. Показатель БХА рассчитан для разных видов растений, составляющих растительные сообщества катены.

**Результаты и их обсуждение.** Максимальный уровень биогеохимической дифференциации растений по видовому признаку не выходит за пределы умеренного концентрирования или умеренного деконцентрирования [4]:  $4 \leq \text{ОСВР} \leq 25$  и  $0,04 \leq \text{ОСВР} \leq 0,25$  (табл. 1) за исключением сфагнума, который является сильным концентратором  $\text{Pb}_{55}, \text{Ti}_{38}, \text{Zr}_{26}$  (цифры ря-



дом с элементом – значения коэффициента ОСВР). В древесном ярусе наибольшее число элементов концентрируется в хвое ели обыкновенной и листьях клена остролистного, при этом, в автономном и трансэлювиальном ландшафтах хвоя ели относительно эталона сравнения обогащена Pb<sub>3-8</sub>, Co<sub>5-6</sub> и Mn<sub>4-5</sub>, а листья клена остролистного – Cd<sub>5-7</sub> и Pb<sub>5</sub>. С увеличением гидроморфизма ландшафтов на фоне сохранения основных черт биогеохимической специализации у обоих видов отмечается относительное повышение содержания Zn<sub>3-5</sub> (ЦЛЗ 3/1), а также – Cd<sub>3,41</sub> (у ели обыкновенной) и Mn<sub>4,52</sub> (у клена остролистного). По сравнению с липой сердцевидной и кленом остролистным, фотосинтезирующие органы ели обыкновенной слабее накапливают Cu и Zr, причем отличия в их содержании не превышают 2 раз. С увеличением увлажненности почв хвоя ели обыкновенной деконцентрирует Cu<sub>0,4</sub>.

Травянистый ярус в ландшафтах катены представлен как неморальными, так и бореальными видами. Большинство растений нижних ярусов растительных сообществ, за исключением сфагнума, в соответствии со значениями коэффициента ОСВР являются деконцентраторами Cr, Ni, Cu, Sr. Однако травянистые растения концентрируют малоподвижные Ti, Zr, а также Fe, Cd, Cr. Среди растений травянистого яруса кислица обыкновенная характеризуется наиболее низкими концентрациями элементов, а концентратором наибольшего числа элементов является плюризональный вид – орляк обыкновенный (Ti<sub>4,3-11,6</sub>; Fe<sub>1,2-4,7</sub>; Cr<sub>3,5-4,3</sub>; Zr<sub>3,8-8,9</sub>).

Т а б л и ц а 1

Зольность и элементный состав листьев липы сердцевидной в ландшафтах катены

Разрез	Зольность, %	Микроэлементы, мг/кг сухого вещества											
		Ti	Fe	Mn	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Zr	Sr	Pb	Cd
Автономный ландшафт													
ЦЛЗ-0	6,2	2,8	71	808	1,14	0,09	2,4	8,0	21	0,44	28	0,10	0,07
Трансэлювиальный ландшафт склона													
ЦЛЗ-1	7,4	2,4	51	539	0,46	0,07	1,5	8,8	24	0,07	28	0,10	0,10
Трансэлювиально-супераквальный ландшафт													
ЦЛЗ-3/1	7,2	1,9	69	204	0,39	0,05	1,0	7,4	18	0,09	13	0,10	0,05
ЦЛЗ-3	6,2	1,0	101	511	0,23	0,17	1,3	8,4	13	0,05	21	0,12	0,09

В старых и малоактивных органах растений (крупные ветки, кора) накапливаются щелочноземельные элементы (особенно Са, для которого ОСОР в коре равен 1,2–2,4) и некоторые металлы: Zn<sub>0,8-1,22</sub>, Cu<sub>1,14-1,5</sub>, Pb<sub>0,8</sub> (цифра рядом с элементом – значение коэффициента ОСОР). Кальций выполняет скелетные функции, участвует в различных обменных процессах, активизации ферментов, развитии корневой системы растений. Свинец малоподвижен в растениях, поэтому накапливается в древесине. Наши данные согласуются с результатами, полученными в работе [7], свидетельствующими об аккумуляции Cd и Zn в ветвях ели обыкновенной, и повышенной аккумуляции Cu в древесине, что связано с важной ролью этого элемента в лигнификацииксилемы и высоким сродством к материалу клеточных стенок. Для Cd, Zn, Pb установлено накопление в старых иглах ели обыкновенной, что отмечалось ранее [8]. Вегетативные органы растений (хвоя, листья, молодые ветки) накапливают Mn из-за его участия в фотосинтезе и создании окислительно-восстановительных условий в клетках. Листья липы сердцевидной характеризуются интенсивным накоплением по сравнению с другими органами растения не только Mn<sub>3,4</sub>, но и Cu<sub>1,5</sub>, Zr<sub>1,9</sub>, Fe<sub>2,7</sub>, Ti<sub>2,7</sub>.

С помощью коэффициента Ax, который рассчитывается как отношение количества элемента в золе растений к его валовому среднему содержанию в почве (табл.а 2), выявлены биологически подвижные микроэлементы, и группы растений, наиболее активно участвующие в их поглощении из почвы. Растения древесного яруса имеют более высокие значения Ax, чем растения травянистого яруса. Растения древесного яруса (Ax ≥ 10) интенсивнее поглощают из почв Mn, Zn, Cd, которые в соответствии с рядами А.И. Перельмана во многих случаях относятся к элементам энергичного накопления (Ax > 100). К элементам сильного накопления с Ax = 1–10 во всех ландшафтах относятся Ni, Pb, Co, Sr, при этом, Co и Sr накопи-

ваются в ветках. Менее интенсивно вовлекаются  $Cu_{0,07-0,9}$ ,  $Cr_{0-0,7}$  и  $Fe_{0,013-0,6}$ , однако интенсивность накопления элементов варьирует в зависимости от вида, например, Fe наиболее биологически активно в травянистых растениях, чем древесных. Слабее всего участвуют в биологическом круговороте  $Zr_{0,001-0,7}$  и  $Ti_{0,001-0,2}$ .

Т а б л и ц а 2

Среднее валовое содержание элементов в почвах катены

Разрез	Элементы, мг/кг											
	Ti	Fe	Mn	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Zr	Sr	Pb	Cd
Автономный ландшафт												
ЦЛЗ-0	2905	13220	758	38	8,9	18,2	17	62	312	92	18	0,24
Трансэлювиальный ландшафт												
ЦЛЗ-1	2992	11114	727	35	6,9	16,3	14	63	351	93	21	0,29
Трансэлювиально-супераквальный ландшафт												
ЦЛЗ-3/1	2627	8170	389	26	4,5	9,7	10	31	349	85	18	0,22
ЦЛЗ-3	2890	9886	480	33	6,5	13,3	13	40	359	90	16	0,19

Самая высокая биогеохимическая активность из растений древесного яруса характерна для ели обыкновенной (БХА=61–108) и клена остролистного (БХА=69–156), а также ивы козьей (БХА=86), а наименьшая – для липы сердцевидной (БХА=19–39) и вяза шершавого (БХА=6). Среди растений травянистого и мохового яруса химические элементы активнее поглощает сфагнум (БХА=109). Также высокую биогеохимическую активность проявляют звездчатка ланцетолистная (БХА=76–80) и листья черники обыкновенной (БХА=53–98). Большинство растений травяно-кустарничкового яруса обладают низкой биогеохимической активностью, особенно кислица обыкновенная и хвощ лесной (у последнего БХА=7 в трансэлювиальном ландшафте склона). По данному коэффициенту выявлены изменения биогеохимической активности разных видов растений в зависимости от места произрастания. Среди древесного яруса в биологическом поглощении элементов наиболее активно участвует ель обыкновенная в автономном и трансэлювиальном ландшафтах (БХА=108 и 72 соответственно), а в подчиненных полугидроморфных – клен остролистный (БХА=156). Меньше всего ландшафтно-геохимические условия влияют на биогеохимическую активность липы сердцевидной, этот вид обладает наименьшей вариабельностью химического состава зеленой фитомассы (БХА=19–39). Из сквозных видов растений травяно-кустарничкового яруса кислица обыкновенная проявляет наибольшую биогеохимическую активность в нижнем звене катены (БХА=33).

**Выводы.** Биогеохимическая дифференциация лесных сообществ катены определяется структурой фитоценозов. Большинство древесных пород изученных лесных сообществ катены в листьях накапливают Mn и Zn, а также Co и Cd, в то время как растения травянисто-кустарничкового яруса относительно древесных концентрируют элементы с низкой биофильностью (Ti, Fe, Zr, в отдельных случаях, Cd и Cr). Сфагнум при низком содержании зольного остатка и макроэлементов (особенно K, P, S) выступает в качестве умеренного концентратора широкого спектра элементов с относительно низкой биофильностью – Fe, Ti, Cr, Co, Zr и Pb.

В распределении элементов по надземным органам древесных растений прослеживаются разные стратегии накопления: в широколиственных породах наибольшая концентрация происходит в фотосинтезирующих органах растений, а в хвойной породе (ели обыкновенной) – в ветках и коре.

В процессы биологического накопления активно вовлекаются Mn, Zn и Cd. Биогеохимическая активность поглощения микроэлементов из почв определяется филогенетической специализацией растений. Растения древесного яруса – ель обыкновенная и клен остролистный, – а также сфагнум, характеризуются максимальной биогеохимической активностью. Среди растений травяно-кустарничкового яруса максимальную биохимическую активность имеют звездчатка ланцетолистная (БХА=76–80) и листья черники обыкновенной (БХА=53–

98). Вяз шершавый (БХА=6), хвощ лесной (БХА=7) и кислица обыкновенная (БХА=13–33) по величинам коэффициента БХА слабо участвуют в биогеохимических циклах микроэлементов. Активность поглощения микроэлементов у растений одного вида меняется в зависимости от условий и положения в катене: ель обыкновенная активнее участвует в биологическом поглощении элементов в автономном ландшафте (БХА=108), а клен остролистный – в трансэлювиальном (БХА=156). Липа сердцевидная отличается наиболее стабильным поглощением микроэлементов из почв и слабыми пространственными вариациями микроэлементного состава зеленых органов (БХА=19–39).

*Исследование выполнено при поддержке гранта РГО-РФФИ № 17-05-41036 (договор № 04/2017/РГО-РФФИ).*

### Литература

1. Исаченкова Л.Б., Тарзаева М.В. Сравнительная биогеохимическая характеристика лесных экосистем // Экосистемы широколиственно-хвойных лесов южного Подмосковья. М.: Географический факультете МГУ. 2006. С. 84–97.
2. Железнова О.С., Черных Н.А., Тобратов С.А. Цинк и кадмий в фитомассе древесных растений лесных экосистем: закономерности транслокации, аккумуляции и барьерных механизмов // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 2. С. 253–270.
3. Караванова Е.И., Белянина Л.А., Шапиро А.Д., Степанов А.А. Влияние подстилок на подвижность соединений Zn, Cu, Mn, Fe в верхних горизонтах подзолистых почв // Почвоведение. 2006. № 1. С. 43–51.
4. Смирнова О.В., Заугольнова Л.Б., Евстигнеев О.И., Коротков В.Н., Ханина Л.Г. и др. Сукцессионные процессы в заповедниках России и проблемы сохранения биологического разнообразия. СПб.: Российское ботаническое общество, 1999. 549 с.
5. Айвазян А.Д. Геохимические особенности флоры ландшафтов юго-западного Алтая. М.: Изд-во МГУ, 1974. 155 с.
6. Ковалевский А.Л. Основные закономерности формирования химического состава растений // Биогеохимия растений: тр. Бурят. ин-та ест. наук. Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство, 1969. С. 6–28.
7. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants, Fourth Edition. CRCPress, 2011. 548 p.
8. Gandois L., Probst A. Localisation and mobility of trace metal in silver fir needles // Chemosphere. 2012. Vol. 87. P. 204–210.

### **BIOGEOCHEMICAL DIFFERENTIATION OF THE PHYTOMASS IN SOUTHERN TAIGA LANDSCAPES OF THE CENTRAL-FOREST NATURE RESERVE**

P.R. Enchilik, E.N. Aseeva, I.N. Semenov, E.V. Terskaya, N.S. Kasimov

Faculty of Geography, M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, polimail@inbox.ru

**Summary.** *Biogeochemical differentiation of the forest communities in a catena at the southern part of the Central-Forest Nature Reserve and the role of plants from herbaceous and tree canopies in the biocycle of chemical elements were revealed based on the determination of the total concentrations of Ti, Fe, Mn, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Sr, Pb, Cd both in the phytomass and in the soils and the calculation of biogeochemical coefficients. Our results show that the microelements (Mn, Zn, Co) are incorporated into the biocycle in the catena's landscapes mainly due to their uptake from soils by woody plants, while the biogenic migration of elements with low bioavailability (Fe, Ti, Cr, Zr, Pb) is related to fixation from soils by sphagnum moss and herbaceous plants.*

**Keywords:** *catena, trace elements, coniferous-broadleaf communities, biogeochemical specialization, photosynthetic organs of plants, biogeochemical activity of species.*

## СОВРЕМЕННЫЙ ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Е.И. Ергина

ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Республика Крым, Симферополь,  
ergina65@mail.ru

**Аннотация.** В статье описаны особенности пространственной дифференциации почвенного покрова. Охарактеризовано современное состояние почв Крыма, обусловленное социально-историческими особенностями использования территории Крымского полуострова.

**Ключевые слова:** почвы, Крымский полуостров, деградация, дегумификация, засоление.

Пространственная дифференциация почвенного покрова обусловлена взаимодействием совокупности биоклиматических, литологических, историко-генетических факторов. Геологическое строение Крымского полуострова предопределило проявление горизонтальной биоклиматической зональности в его равнинной части и вертикальной – в горной. Таким образом, своеобразие пространственного распространения почвенного покрова равнинного Крыма проявляется в обратной инверсионной зональности: с севера на юг, по мере возрастания гипсометрического уровня, повышается степень атмосферного увлажнения, снижается минерализация и уровень грунтовых вод. Полынно-злаковые сухие степи на зональных темно-каштановых (реже каштановых) солонцеватых почвах, сменяют солонцовые почвенно-растительные комплексы, которые в свою очередь уступают место типичным степям на черноземах южных, затем обыкновенным мицеллярно-карбонатным, примыкающим к луговым степям на черноземах предгорья.

В пределах Присивашской низменности вдоль Каркинитского залива и Сиваша пониженные участки заняты солончаками на лиманно-морских отложениях. С повышением местности почвенный покров составляют солончаки, солонцы (луговые глубокие, средние и мелкие) и солончаковатые почвы. В микрозападинах развиты каштаново-луговые выщелоченные осолоделые почвы. По мере возрастания гипсометрического уровня до (3–5 м) и залегания грунтовых вод на глубине 2–3 м появляются каштаново-луговые сильносолонцеватыеглубокосолончаковатые почвы. На более повышенных участках сформировались комплексы темно-каштановых солонцеватых почв и лугово-каштановых почв западин, их сменяют комплексы темно-каштановых и черноземов слабосолонцеватых [1].

В пределах Центрально-Крымской возвышенности, Индольской и Альминской равнин, местами на Тарханкутском и Керченском полуостровах на водораздельных пространствах распространены черноземы южные мицеллярно-карбонатные слабогумусированные на лесовидных отложениях и красно-бурых глинах.

Карбонатные черноземы занимают значительные площади в южной части Центральной равнины, на Тарханкутской возвышенной равнине, Евпаторийском плато и северо-восточной части Керченского полуострова, где они формируются на элювии известняков и галечников. В юго-западной части Керченского полуострова сформировались черноземы солонцеватые на сарматских и майкопских глинах. На Тарханкутском плато непосредственно на поверхность выходят известняки или щебнистые продукты их выветривания, иногда перекрытые слоем лессовидных сегментов. Плато сильно расчленено глубокими балками. Здесь широко распространены дерновые карбонатные почвы. Глубина их окраски гумусом приблизительно равна 25 см. Эти почвы черного цвета, резко контрастируют с известняками. В местах, где известняки покрыты лессовидными или пролювиальными отложениями, верхняя часть профиля нормальная, но уже на глубине 30–40 см появляется щебенка и гумусовая окраска исчезает [2].

В предгорной степи под степной растительностью на карбонатных породах в полусухом климате формируются почвы черноземного типа. Здесь распространены черноземы

южные мицеллярно-карбонатные, сформировавшиеся на щебнисто-каменистых продуктах выветривания известняков, мергелей, галечниковых отложениях, и дерново-карбонатные, сформировавшиеся на элювии и делювии карбонатных пород. Большинство сформированных на описываемой территории почв, имеют укороченный профиль и небольшое содержание гумуса.

Лесостепное предгорье характеризуется разнообразным почвенным покровом. Под степными участками преобладают дерново-карбонатные почвы и предгорные черноземы. Все они сформированы на продуктах выветривания известняков и конгломератов.

Дерново-карбонатные почвы отличаются очень коротким гумусовым горизонтом, вскипают от соляной кислоты с поверхности и имеют щелочную реакцию.

В речных долинах Крыма на почвообразование оказывают значительное влияние гидрологический и гидрогеологический режимы.

Все почвы нижнего пояса гор относятся к типу бурых лесных, подтипу слабо ненасыщенных, родам выщелоченных, оподзоленных, карбонатных почв. Значительным колебаниям в этих почвах подвержена мощность гумусового горизонта.

Слабокислой реакцией, слабым скоплением илестых частиц в среднем горизонте отличаются бурые лесные почвы, приуроченные к нижним частям склонов и окраинам межгорных котловин. В настоящее время значительные площади этих почв изменены, вследствие их сельскохозяйственного использования. В некоторых случаях происходит обогащение гумусом и почти исчезает кислая реакция. В естественных условиях также происходит аналогичная трансформация свойств вышеописанных почв. При смене лесной растительности на степную, такие разновидности почв называют остепненными бурыми лесными.

На высотах более 800–850 м над уровнем моря вследствие ухудшения условий минерализации органического вещества, поступающего в почву, (более низкие температуры, продолжительные зимы) больше накапливается промежуточных органических соединений, формируются темно-бурые почвы. Мощность гумусового горизонта и содержания гумуса увеличивается.

Под степной растительностью на повышенных участках на продуктах выветривания известняков образуются горные черноземы с неглубоким профилем. Небольшой мощностью характеризуются и дерново-карбонатные почвы, формирующиеся на выпуклых участках, подверженных эрозии.

На Южном склоне Главной гряды Крымских гор распространены коричневые и коричневые красноцветные почвы, которые являются зональным типом. Почвы этого типа приурочены к областям со Средиземноморским типом климата (субтропическая – ксерофитно-лесная область) [3].

Кроме факторов почвообразования традиционно определяемых еще в работах В. В. Докучаева в последнее время выделяется фактор антропогенного воздействия на почвы. Необходимо отметить, что на Крымском полуострове, который заселен человеком с наиболее древних времен были различными интенсивность и глубина процессов трансформации почв, и ландшафтов. Процесс изменения ландшафтов происходил вслед за сменой социально-экономической обстановки в Крыму, заселения и освоения его территории. Активное антропогенное преобразование территории Крымского полуострова в современных условиях привело к активизации процессов деградации почвенного покрова. В первую очередь – это упрощение структуры почвенного покрова при его распашке, кроме того на больших территориях наблюдается развитие вторичных деградационных процессов, таких как, дефляция, водная эрозия, дегумификация, загрязнение балластными компонентами удобрений, остаточными количествами ядохимикатов и прочее. Особенно широкое распространение получили водная эрозия и дефляция, под влиянием которых в мире ежегодно выводится из пахотного фонда до 6–7 млн га. В Крыму эрозионные процессы наиболее активно развиваются в агроландшафтах горных и предгорных районов. Этому способствуют геоморфологические и почвенно-геологические особенности территории, а также высокая степень ее распаханности [4].

Активная антропогенная деятельность привела к образованию преобразованных ландшафтов, с полностью или частично отсутствующим почвенным покровом. Значительные площади полуострова занимают отвалы, выемки пород, образовавшиеся при добыче полезных ископаемых, при мелиоративном строительстве, промышленном и жилищном строительстве, и т.п. По данным Министерства экологии и природных ресурсов Республики Крым на территории республики в 2016 г. зафиксировано 3283,62 га нарушенных земель, из них площадь участков нарушенных земель брошенных (не рекультивированных) карьеров по информации муниципальных образований 2223,4947 га [5]. В современных экономических условиях на нарушенных землях целесообразными будут меры, стимулирующие процесс постепенного образования почв за счет реализации почвообразовательного потенциала среды, что приведет к регенерации ландшафтов [4]. В то же время, очевидно, что процесс формирования почв в современных условиях почвообразования имеет весьма специфические условия, которые отличаются от процесса формирования зональных почв Крыма на протяжении голоцена. При существующих темпах рекультивации нужны будут десятки лет для возвращения земель в сельскохозяйственное использование. Проблема проведения на таких землях восстановительных мероприятий стоит сейчас в Республике наиболее остро.

Среднее содержание гумуса в почвах Крыма невысокое и варьирует в пределах 1,8–2,86%. Наиболее низким содержанием характеризуются почвы Степи Сухой Северо-Крымской (Красноперекопский, Джанкойский районы). Это, конечно же, в первую очередь, объясняется особенностями условий формирования почв. Но активному проявлению процесса дегумификации способствует также и высокая степень распаханности характеризуемых территорий и развитие эрозийных процессов.

С 1963 года значительная часть почв степного Крыма орошалась водами Северо-Крымского канала и использовалась в рисово-люцерновых агроценозах. Около 50% структуры почвенного покрова рисовых оросительных систем Крыма (15 тыс. га) составляли солонцы луговые. Затопляемая культура риса резко изменила экологию, строение профиля, водный и солевой режимы солонцов луговых, в результате активизировались такие несвойственные им процессы как рассоление, рассолонцевание и другие. В результате исследований крымских ученых установлено, что за этот период общие запасы солей в верхней метровой толще почв уменьшились в 3,4–5,8 и в слое 0–30 см в 1,5–3,2 раза [6].

С 2014 года в связи с присоединением Крыма к России поступление воды в Северо-Крымский канал прекратилось. В настоящее время засоление почв и пород зоны аэрации не проявляется, но для контроля скорости и интенсивности процессов вторичного засоления необходима организация мониторинга глубины, минерализации и состава грунтовых вод. После прекращения подачи воды по Северо-Крымскому каналу на территории Равнинного Крыма в настоящее время, по сути, происходит антропогенно – и природнообусловленный эксперимент эволюции почвенно-экологических условий в постирригационный период. Прекращение подачи воды по Северо-Крымскому каналу в 2014 г. вынудило перейти на использование бывших орошаемых участков под севообороты «сухого» земледелия и сопровождалось постепенным понижением уровня грунтовых вод.

На Присивашской низменности в зоне развития плиоцен-четвертичного водоупора к концу вегетационного периода 2016 г. произошло полное растекание куполов ирригационно-грунтовых вод под каналами и бывшими орошаемыми зернокармливыми и рисовыми севооборотами. В текущее время 70% площади имеет уровень грунтовых вод глубже 5 м и 25% площади – 3–5 м, что соответствует хорошему и удовлетворительному мелиоративному состоянию, при котором восстановление исходной засоленности почв, в ближайшее время, мало вероятно. Около 5% площади участков имеют глубину залегания уровня грунтовых вод менее 3 м. К этим участкам, как правило, приурочены очаги сохранившегося засоления почв преимущественно слабой, реже средней и сильной степени.

Наибольшие площади засоленных почв бывших орошаемых земель отмечаются на Керченском полуострове в связи с широким распространением здесь засоленных морских глин палеоген-неогенового возраста и глинистых продуктов их переотложения.

Риску реставрации засоленности почв в современных условиях в первую очередь подвержены массивы бывших рисовых систем Крыма, расположенные на Присивашской низменности в непосредственной близости к побережью Сиваша и Каркинитского залива при засушливом климате [7].

По данным специальных наблюдений, установлено, что уровень грунтовых вод в 2015–2017 гг. постепенно понижался в условиях отсутствия поливов и расхода воды на транспирацию посевами выращиваемых культур. В настоящее время уровень грунтовых вод залегает преимущественно на глубине более 3 м, что глубже критического уровня, обеспечивая относительную стабильность солевого состояния почв бывших солонцовых комплексов, рассоленных в ходе многократной промывки при выращивании риса в течение полувека [7]. Определение тенденций солевого состояния почв в границах постирригационных ландшафтов очень важная научная задача. Мониторинг режима грунтовых вод и процессов засоления почв в настоящее время продолжается.

Кроме того в настоящее время, в Крыму значительные площади сельскохозяйственных земель заняты засоленными в различной степени почвами. По данным Центра агрохимической службы «Крымский» общая площадь солонцовых земель достигает 341,0 тыс. га, а это более 25% всей пашни полуострова. Они требуют мероприятий по их мелиорации – путем внесения гипса или фосфогипса.

Влияние сельскохозяйственной деятельности в Крыму на почвы и другие компоненты природной среды носит региональный и стойкий по времени характер. С внесением удобрений в почвы поступает значительное количество тяжелых металлов, которые образуют ореолы загрязнения пород зоны аэрации и грунтовых вод. Многие современные потоки несвойственных зональным экосистемам химических элементов поступают в почву в результате применения пестицидов, гербицидов и минеральных удобрений. Так в 2017 году в результате эколого-токсикологического обследования почв на территории Республики Крым, по данным центра агрохимслужбы установлены факты загрязнения почв тяжелыми металлами и пестицидами, повышенное содержание свинца (Советский и Красногвардейский районы). Повышенное содержание меди и свинца связано с применением в предыдущие годы медьсодержащих агрохимикатов при возделывании многолетних насаждений. В минеральных удобрениях, применяемых в настоящее время содержится кадмий, свинец, медь, цинк. Длительное время при мелиорации засоленных почв на большей территории Равнинного Крыма используется фосфогипс – промышленный отход при получении аммофоса в ООО «Титановые инвестиции» в городе Армянске Красноперекоского района, в составе которого обнаружены свинец, мышьяк, кадмий, фтор [8].

В загрязнении почвенного покрова также значительную роль играет автотранспорт. Вдоль автомобильных дорог с интенсивным движением автотранспорта, отмечается сплошная зона загрязнения, шириной до 40 м, с высоким содержанием в почвах свинца, меди, ванадия, цинка, марганца, олова [8].

Для активизации мероприятий по охране почвенного покрова на территории Крымского полуострова мы предлагаем алгоритм создания Государственного фонда данных государственного эколого-мелиоративного мониторинга почв и земель

Таким образом, для решения проблем поддержания агроландшафтов в устойчивом равновесии к внешним воздействиям, а также повышения и сохранения уровня почвенного плодородия необходимо:

- разработать систему мероприятий по организации мониторинга почв и земель в Республике Крым с использованием спутниковой информации;
- систематически осуществлять мониторинг за состоянием почв и почвенного покрова, провести полномасштабное агрохимическое обследование земель и почв Крыма;
- разработать комплекс мероприятий, направленных на восстановление почвенного покрова для каждой категории деградированных почв на основе адаптивно-ландшафтного подхода к использованию агроландшафтов.

Решить эти и другие актуальные проблемы, направленные на стабилизацию и улучшение свойств почв их экологического состояния возможно путем принятия на региональном уровне программы по охране почв от эрозии и иных видов деградации.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Совета Министров Республики Крым в рамках научного проекта № 17-45-92015.*

### Литература

1. Половицкий И.Я., Гусев П.Г. Почвы Крыма и повышение их плодородия. Симферополь: Таврия, 1987. 152 с.
2. Дзенс-Литовская Н.Н. Почвы и растительность степного Крыма. Л.: Наука, 1970. 157 с.
3. Драган Н.А. Почвенные ресурсы Крыма: науч. моногр. 2-е изд., доп. Симферополь: Доля, 2004. 208 с.
4. Ергина Е.И. Пространственно-временные закономерности процессов современного почвообразования на Крымском полуострове. Симферополь: АРИАЛ, 2017. 224 с.
5. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым за 2016 год. URL: [http://meco.rk.gov.ru/rus/file/Doklad\\_o\\_sostojanii\\_i\\_ohrane\\_okruzhajushhej\\_sredy\\_Respubliki\\_Krym\\_v\\_2016.pdf](http://meco.rk.gov.ru/rus/file/Doklad_o_sostojanii_i_ohrane_okruzhajushhej_sredy_Respubliki_Krym_v_2016.pdf)
6. Тронза Г.Е. Солевой режим солонцов луговых Крымского Причерноморья освоенных под культурой риса // Труды Крымского ГАТУ: Сельскохозяйственные науки. Симферополь, 2002. Вып. 91. С. 242–247.
7. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство)» (под редакцией А.И. Бедрицкого) М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, ГЕОС, 2018. 357 с.
8. Центр агрохимической службы «Крымский». URL: <http://agrohimp82.ru/news/osnovnyie-napravleniya-povyisheniya-effektivnosti-zemlepolzovaniya-respubliki-kryim>

### MODERN SOIL COVER OF THE CRIMEAN PENINSULA

E.I. Ergina

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Republic of Crimea, Simferopol, e-mail: [ergina65@mail.ru](mailto:ergina65@mail.ru)

**Summary.** *The article describes the features of spatial differentiation of the soil cover. The present condition of the Crimea soils is characterized by sociohistorical features of the use of the Crimeans' peninsula territory.*

**Keywords:** *soils, Crimean peninsula, degradation, dehumification, salinizati.*



## ПОЧВЫ ГОРНЫХ БЕРЕЗОВЫХ РЕДКОЛЕСИЙ СЕВЕРНОГО УРАЛА: РАЗНООБРАЗИЕ, ГЕНЕЗИС, КЛАССИФИКАЦИЯ

Е.В. Жангуров, Ю.А. Дубровский, С.В. Дёгтева

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, zhan.e@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены особенности морфологического строения, физико-химических свойств, классификационного положения ранее малоизученных почв горных березовых редколесий Северного Урала. Основными факторами дифференциации почвенного покрова в подгольцовом поясе среднегорных ландшафтов на Северном Урале являются положение почвы в рельефе, высокая щебнистость, пестрота растительного покрова, избыточное увлажнение.

**Ключевые слова:** растительный пояс, Северный Урал, морфологические признаки почв, почвообразующие породы, классификация почв.

**Актуальность.** Для Печоро-Ильчского государственного заповедника характерно высокое разнообразие растительных комплексов. Здесь представлены самые разные типы растительности – от равнинных лесов до высокогорных тундр. Одним из приоритетных направлений исследований в заповеднике являются изучение биологического разнообразия природных комплексов на ландшафтном, биоценотическом, видовом и генетическом уровнях [1]. Несмотря на достаточно длительную историю исследований, особенности почв и растительного покрова Печоро-Ильчского заповедника (особенно в труднодоступных районах) всё еще изучены недостаточно [2, 3]. В частности, крайне малочисленны сведения о разнообразии и генетических особенностях почв горной ландшафтной зоны в пределах подгольцового растительного пояса, дискуссионными являются вопросы классификации и диагностики этих почв. Целью данной работы явилось выявление разнообразия и генетических особенностей почв горных березовых редколесий, ландшафтно-экологических условий их формирования и определение классификационной принадлежности почв согласно новой «Классификации и диагностики почв России» (2004) [4].

**Объекты исследований** – почвы и растительный покров нескольких горных хребтов северной части заповедника: Кычил-из, Маньхамбо и Маньпупунёр, которые расположены в верхнем и среднем течении р. Ильч. Исследованиями были охвачены преимущественно подгольцовый и горно-тундровый вертикальные пояса в интервале высот от 550 до 820 м над ур. м.

Разрезы для характеристики почв закладывали в фитоценозах основных ассоциаций исследуемого типа растительности и сопровождали детальными геоботаническими описаниями, которые были выполнены по стандартным методикам [5, 6]. При классификации описаний в основу был положен эколого-фитоценотический подход. Физико-химические свойства почв определяли по стандартным методикам [7].

**Обсуждение результатов.** На Северном Урале в подгольцовом поясе на высотах от 550 до 720 м над ур. м. облик ландшафтов определяют редколесья, сформированные *Betula pubescens*, которые мы относим к субформации *Montano-Betuleta* формации *Pubescenti-Betuleta* [3]. Неблагоприятные экологические условия определяют специфический габитус деревьев: низкие показатели высоты и диаметра стволов, их искривленность. Разнообразие и особенности морфологического строения почв горных березовых редколесий Северного Урала в значительной степени определяются характером растительного покрова и литолого-геоморфологическими особенностями склона (крутизной и глубиной подстилания элювиально-делювиальных мелкоземисто-щебнистых отложений). Всего были исследованы 10 почвенных разрезов. Ниже охарактеризованы наиболее распространенные типы почв.

Разрез 8-С.У. заложен на пологом склоне хребта Маньхамбо в березовом редколесье зеленомошного типа насаждений (ассоциация *Montano-Betuletum fruticoso-hylocomiosum*). Сомкнутость древесного яруса 0.4. Первый разреженный полог сформирован деревьями ели, высота которых достигает 6 м, диаметр стволов 18–20 см. Второй полог является основным

(сомкнутость 0.3–0.4) и на 100% состоит из березы. Состав и структура нижних ярусов сообщества (таблица) типичны для данной ассоциации [9].

#### Типы почв и особенности растительного покрова горных березовых редколесий

Абс. высота, м н.у.м.; Экспозиция; Крутизна склона, град.	Растительная ассоциация	Высота основного древесного полога, м; Сомкнутость	ОПП; Доминанты травяно-кустарничкового яруса	ОПП; Доминанты мохово-лишайникового яруса
Разрез 8-С.У. Почва: подзол иллювиально-железистый				
627 м н.у.м., Склон С-В экспозиции, 5-6 градусов	Montano-Betuletum fruticulosohylocomiosum	2–3 м; 0.3–0.4	ОПП 60–70%; <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Gymnocarpium dryopteris</i>	ОПП 60–70%; <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Dicranum fuscescens</i>
Разрез 7-С.У. Почва: светлосеро иллювиально-железистый				
633 м н.у.м., Склон С-З экспозиции, 4-5 градусов	Montano-Betuletum avenelloso-myrtillosohylocomiosum	3–6 м; 0.4–0.6	ОПП 80%; <i>Vaccinium myrtillus</i>	ОПП 60%; <i>Dicranum fuscescens</i> и <i>Pleurozium schreberi</i>
Разрез 11-С.У. Почва: стратозем серогумусовый				
648 м н.у.м., Склон С-В экспозиции, 5-6 градусов	Montano-Betuletum calamagrostidosum	2–3 м; 0.3–0.4	ОПП 85% <i>Calamagrostis purpurea</i> , <i>Dryopteris expansa</i> , <i>Bistorta major</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i>	ОПП < 5%; <i>Sphagnum girgensohnii</i>
Разрез 8-МП. Почва: серогумусовая				
710 м н.у.м., Склон В экспозиции, 2-3 градуса	Montano-Betuletum albiflori geraniosum	3–6 м; 0.4–0.6	ОПП 90% <i>Geranium albiflorum</i> , <i>Calamagrostis purpurea</i> , <i>Chamaenerion angustifolium</i>	ОПП <10% р. <i>Brachythecium</i> и <i>Calliergon</i>
Разрез 17-С.У. Почва: подбур глеевый				
613 м н.у.м., Склон Ю-З экспозиции, 1-2 градуса	Montano-Betuletum calamagrostidososphagnosum	2–4 м; 0.4–0.6	ОПП 70–80% <i>Calamagrostis purpurea</i> , <i>Carex globularis</i> , <i>Equisetum sylvaticum</i> и др.	ОПП до 70% <i>Sphagnum majus</i> , <i>Sphagnum girgensohnii</i>
Разрез 10-МП. Почва: торфяная эвтрофная иловато-перегнойная глеевая				
662 м н.у.м. (ложбина стока)	Montano-Betuletum mixto-herbosum	8–10 м; 0.4–0.6	ОПП 70-80 % <i>Calamagrostis purpurea</i> , <i>Equisetum sylvaticum</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Athyrium distentifolium</i>	ОПП до 30 % <i>Brachythecium sp.</i> , <i>Plagiomnium ellipticum</i>

Микрорельеф не выражен, однако на дневной поверхности часто присутствуют россыпи крупно- и мелкообломочного материала горных пород (преимущественно гранитов, кварцитов с размерами 0,5–1,0 м), которые в большом количестве присутствуют в пределах всего почвенного профиля. Формирующиеся в этих условиях почвы отчетливо дифференцированы на генетические горизонты. Строение профиля: О(0–8 см)-Е(8–18 см)-ВF(18–30 см)-ВС(30–50 см)-С(50–60 см). Под маломощной слабообразовавшейся оторфованной грубогумусовой подстилкой О формируется подзолистый горизонт Е – серовато-белесый, супесчаный, щебнистый. Ниже сформирован иллювиально-железистый горизонт ВF – желтовато-коричневый, местами коричневатобурый обильно щебнистый опесчаненный легкий суглинок. Переход в горизонт ВС постепенный по увеличению содержания обломков горных пород, с глубины 35–40 см скелетно-грубообломочная часть резко возрастает. Согласно «Классификации и диагностики почв России» [4] почвы диагностируются как подзолы иллювиально-железистые и, как правило, образуют достаточно однородный почвенный покров рассматриваемых березовых редколесий. Благодаря хорошей дренированности застоя влаги не происходит, поэтому морфологических признаков оглеения не наблюдается.

Физико-химические свойства и валовой химический состав отражают характерные свойства подзолов: кислую и сильнокислую реакцию среды (рН вод. 4.3–5.1), очень низкую степень насыщенности основаниями (5–7%), элювиально-иллювиальное распределение общего углерода, валовых форм  $R_2O_3$ , а также оксалат- и дитионитрастворимых форм  $Fe_2O_3$ .

Молекулярное отношение C: N в минеральных горизонтах составляет 14–16, что сближает их с аналогичными подзолами горно-лесного пояса как Северного, так и Приполярного Урала [8].

Разрез 7-С.У. заложен на более пологом участке склона хребта Маньхамбо (таблица) в луговико-чернично-зеленомошном сообществе (ассоциация *Montano-Betuletum avenelloso-myrtilloso hylocomiosum*). Для данного участка склона характерны относительно благоприятные условия для скопления мелкозема (глубина подстилки коренных горных пород начинается с 70–80 см). Общая сомкнутость древостоя 0.4–0.6. Высота основного полога 3–6 м, диаметр стволов березы 6–18 см. Для нижних ярусов (табл.) характерно содоминирование черники и луговика, а также преобладание зелёных мхов.

Формирующиеся здесь почвы диагностируются по наличию системы подстильно-торфянистого (О), подзолистого (Е), иллювиально-железистого (ВF) и специфически оструктуренного криометаморфического (CRM) горизонта. Из всего разнообразия морфологических свойств исследуемой почвы наиболее важным диагностическим признаком представляется наличие и степень выраженности специфического криогеннооструктуренного горизонта CRM с рассыпчатой комковато-ореховатой или угловато-крупитчатой структурой. В «Классификации и диагностике почв России» (2004) этот горизонт выделен как криометаморфический. Размеры структурных отдельностей колеблются от 3–4 до 7–10 мм, возрастают с глубиной. Прослеживается горизонтальная делимость почвенной массы, однако плитки непрочные, рассыпаются на мелкие отдельности. Морфохроматические признаки оглеения отсутствуют. Почвы с подобным строением профиля диагностируются как тип светлосезмов иллювиально-железистый в отделе криометаморфических почв. Для описываемого региона Северного Урала эти почвы описаны нами впервые.

На верхней границе распространения березовых редколесий (на границе с горно-тундровым поясом) на высотах 570–700 м над ур. м. выражены пологие нагорные террасы, на которых в зимний период накапливается снег, что создает более благоприятные условия для существования сообществ с хорошо развитым травостоем. Березовые редколесья травяного типа насаждений характеризуются высоким уровнем видового разнообразия сосудистых растений [3, 9] и часто чередуются с участками горных лугов и зарослями кустарников. Мощно развитый травостой угнетает мхи и особенно лишайники, ОПП напочвенного покрова не превышает 15%. В березовых редколесьях травяного типа нами были заложены 2 разреза (11-С.У. и 8-МП).

Разрез 11-С.У. заложен на хребте Маньхамбо в ложбине стока временного водотока. Растительность представлена вейниковыми редколесьями (ассоциация *Montano-Betuletum calamagrostidosum*). Наличие хорошо развитого яруса из представителей таёжного высоко-травья обуславливает формирование в верхней части профиля почв отчетливо выраженного дернового серогумусового горизонта АУ, постепенно переходящего в однородную мелкоземистую толщу. Формирующиеся в этих условиях почвы отличаются специфическими особенностями, связанными с характером почвообразующих пород, представленных средне- и тяжелосуглинистыми отложениями, которые не связаны генетически с подстилающими горными породами и, очевидно, являются переотложенным материалом с верхней части склона. Отсутствие включений щебня и обломков коренных пород в пределах почвенного профиля также свидетельствует о делювиальном генезисе маломощных мелкоземистых отложений. Почвенный профиль слабо дифференцирован на генетические горизонты. Средняя и нижняя часть профиля представлена гумусированной стратифицированной толщей и вследствие периодического поступления минерального материала водной аккумуляцией имеет слабые признаки горизонтальной слоистости (неоднородности). С глубины 50 см идет резкий литологический переход к массивной плите коренной горной породы. Строение профиля: О-АУ-РУ-плита породы. Почва диагностируется как стратозем серогумусовый. По физико-

химическим свойствам они отличаются достаточно высоким содержанием органического углерода (3–4%) и равномерно-аккумулятивным его распределением по всему профилю. Молекулярное отношение C:N в минеральных горизонтах 11–13, что свидетельствует о высоком биологическом круговороте.

Разрез 8-МП заложен на очень пологом участке склона (крутизна 2–3°) хребта Маньпупунер (таблица) в березовом редколесье гераниевом (ассоциация *Montano-Betuletum albiflori geraniosum*). Морфологическое строение формирующихся здесь почв достаточно выразительно отражает развитие дернового процесса. Под хорошо разложившейся подстилкой формируется аккумулятивно-гумусовый горизонт АУ с мощностью до 10 см, который постепенно переходит щепнисто-глыбистую толщу почвообразующей породы. Срединный горизонт, как самостоятельное генетическое образование, не выражен: средняя часть профиля не имеет педогенной структурной организации и, как правило, бесструктурна. Корнеобитаемый слой небольшой мощности: основная масса корней сосредоточена в верхней части профиля – в органогенном и в аккумулятивно-гумусовом горизонте, глубже 30–40 см проникают единичные корни. Строение профиля: О-АУ-АУВ-ВС-С. Почва: серогумусовая типичная.

В переувлажненных экотопах нижних частях склонов, а также заболоченных долинах рек и ручьев формируются сфагновые березовые редколесья (ассоциация *Montano-Betuletum calamagrostidoso-sphagnosum*). Застойно-промывной тип водного режима определяет формирование серии глеевых горизонтов G-CG в верхней и средней части профиля почв. Строение профиля: О-ВНГ-G-CG (разрез 17-С.У.). Почва диагностируется как подбур иллювиально-железистый глеевый (табл.).

Другим примером почв, развивающихся в условиях повышенного увлажнения под сообществами исследуемой формации, являются почвы болотного типа, подтип – перегнойно-торфяно-глеевые. Разрез 10-МП был заложен в разнотравном кривоколесье (*Montano-Betuletum mixto-herbosum*) на хребте Маньпупунер (таблица). Близкое залегание уровня грунтовых вод и сезонный сток атмосферных осадков с верхней части склона обеспечивают достаточный для формирования разнотравных сообществ уровень содержания минеральных элементов, при наличии процессов застойного увлажнения, которые инициируют консервацию травянистых растительных остатков в верхней толще почвенного профиля. Вследствие длительного переувлажнения в них накапливаются растительные остатки в виде хорошо разложившейся перегнойно-торфяной массы, переплетенных травянистыми корнями. Мощность торфа 50–60 см, степень разложения материала которой увеличивается с глубиной и переходит в сизовато-серо-голубой окраски глеевый горизонт G. Почва диагностируется как торфяная эутрофная иловато-перегнойная глеевая и характеризуются кислой реакцией среды (рН сол. 3.6–3.8), высокой гидролитической кислотностью и высокими величинами потери при прокаливании (50–70%), ненасыщенностью основаниями [10].

**Заключение.** Таким образом, рассмотренные березовые редколесья Северного Урала характеризуются значительной пространственной неоднородностью и разнообразием почв. Согласно «Классификации и диагностике почв России» (2004) на данный момент выявлено 6 типов почв, относящихся к 5 отделам. Для территории Северного Урала впервые описаны и охарактеризованы новые ранее не описанные типы почв – светлосемы иллювиально-железистые (отдел криометаморфических почв) и стратосемы серогумусовые (отдел стратосемы). Дальнейшие комплексные исследования морфогенетических особенностей почв под различными типами растительных сообществ горных березовых редколесий Северного Урала позволит выявить реально существующее разнообразие почв на подтиповом уровне и ведущие процессы почвообразования.

*Работа выполнена при финансовой поддержке программы УрО РАН: «Разнообразие основных компонентов экосистем в широтном и высотном градиентах западного макросклона Северного и Приполярного Урала», № 18-4-4-14.*

## Литература

1. Природное наследие Урала. Разработка концепции регионального атласа / под науч. ред. чл-корр. РАН А.А. Чибилева и акад. РАН В.Н. Большакова. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 480 с.
2. Почвы и почвенный покров Печоро-Илычского заповедника (Северный Урал) / отв. ред. С.В. Дёгтева и Е.М. Лаптева. Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2013. 328 с.
3. Дёгтева С.В., Дубровский Ю.А., Шубина Т.П. Ценоотическое и флористическое разнообразие березовых криволесий и редколесий северной части Печоро-Илычского заповедника // Бот. журн. 2009. Т.94, № 7. С. 1037–1055.
4. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
5. Ипатов В.С. Описание фитоценоза. Методические рекомендации. СПб., 1998. 93 с.
6. Нешатаев Ю.Н. Методы анализа геоботанических материалов. Л., 1987. 192 с.
7. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. М., 2006. 400 с.
8. Жангуров Е.В., Дубровский Ю.А., Дымов А.А. Характеристика почв и растительного покрова высотных поясов хребта Малдындыр (Приполярный Урал) // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2012. № 12. С. 40–48.
9. Дёгтева С.В., Дубровский Ю.А. Горные березовые редколесья Печоро-Илычского заповедника // Известия Самарского НЦ РАН. 2012. Т. 14, № 1 (4). С. 994–997.
10. Жангуров Е.В., Дубровский Ю.А., Дёгтева С.В., Дымов А.А. Эколого-генетические особенности формирования торфяных почв горной ландшафтной зоны Северного Урала (Печоро-Илычский заповедник) // Лесоведение. 2017. № 2. С. 94–101.

### SOILS OF THE MOUNTAIN BIRCH FORESTS OF THE NORTHERN URAL: DIVERSITY, GENESIS, CLASSIFICATION

E.V. Zhangurov, Yu.A. Dubrovsky, S.V. Degteva

Institute of biology Komi SC RAS, Syktyvkar, zhan.e@mail.ru

**Summary.** *The features of the morphological structure, physicochemical properties, classification position of previously poorly studied soils of mountain birch sparse forests of the Northern Urals are considered. The main factors in the differentiation of the soil cover in the sub-glacial belt of mid-mountain landscapes in the Northern Urals are the position of the soil in the relief, high crumbling, variegation of vegetation cover, excessive moistening.*

**Keywords:** *plant belt, Northern Urals, morphological features of soils, soil-forming material, soil classification.*

## ГУМУСОВЫЙ ПРОФИЛЬ ПОЧВ КАК НОСИТЕЛЬ ИНФОРМАЦИИ ОБ ЭВОЛЮЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И СТАДИЙНОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Е.В. Каллас

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, lkallas@sibmail.com

**Аннотация.** Рассматриваются гумусовые профили почв как носители «почвенной памяти» на примере лугово-черноземной почвы Чулымо-Енисейской впадины и серой лесной глееватой почвы экотона тайга–степь Томь-Яйского междуречья. Показано, что гумусовые профили отражают сложную контрастную эволюцию почв и разные фазы и стадии педогенеза, фиксируя информацию о смене типов почвообразования в характере изменения С<sub>гк</sub>:С<sub>фк</sub>, распределении доли гуматов кальция и ГК в целом, ФК и их свободной фракции.

**Ключевые слова:** гумусовый профиль, эволюция почв, гуминовые кислоты, фульвокислоты, стадии, фазы почвообразования.

**Актуальность.** Проблеме эволюции почв и почвенного покрова в почвоведении всегда уделялось большое внимание. В настоящее время сформулирована концепция памяти почв, согласно которой в устойчивых почвенных свойствах записываются и запоминаются условия среды, в которых формировалась почва [1]. Носителями «почвенной памяти» являются почвенные минералы, карбонатные и иные новообразования, гумус, микробиоморфы и др.

Согласно М.И. Дергачевой [2], гумус играет особую роль, поскольку этот почвенный компонент сенсорен и рефлекторен по отношению к природной среде, представляет собой открытую природную систему гумусовых веществ, формирующуюся по законам термодинамики и обладающую способностью к саморегуляции и самовосстановлению. Как показано М.И. Дергачевой [3], гуминовые и фульвокислоты образуют в почве единую трансаккумулятивную систему, где первые закрепляются на месте, а вторые частично связываются в комплексы с гуминовыми кислотами, а частично, в силу миграционной способности, перемещаются с почвенными растворами по профилю. Установлены эколого-гумусовые связи [4], показывающие, что отношение углерода гуминовых кислот (ГК) к углероду фульвокислот (ФК) имеет достоверные коэффициенты корреляции с большинством основных характеристик климата, ГК – с температурными условиями, а ФК – с осадками. Это является весомым доводом в пользу возможности использования гумуса в качестве «ключа» для считывания информации об изменениях природной среды на протяжении периода формирования почвы, записанной в характеристиках её гумусового профиля. Последний, как показано в более ранних работах [5–7], отражает все стадии (периоды развития при иных, чем предыдущие и последующие, условиях педогенеза, сопровождаемые сменой типа почвообразования) и фазы (периоды развития почвы при смене или колебании характеристик какого-либо фактора, не приводящих к изменению типа почвообразования, но отражающихся на отдельных свойствах почв) педогенеза на протяжении истории формирования почв.

Цель настоящей работы – выявить особенности гумусовых профилей почв, несущих информацию об эволюции природной среды и связанной с ней стадийности почвообразования.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования послужили почвы озерных котловин Чулымо-Енисейской впадины, испытывавшие влияние пульсации зеркала воды в озерах и колебаний уровня грунтовых вод (в качестве примера в данной статье рассматривается лугово-черноземная почва (разрез 25-96А)) и почвы экотона тайга–степь юго-восточной части Западной Сибири (Томь-Яйское междуречье), находящиеся в зоне смещения ландшафтных (растительно-почвенных) границ (на примере серой лесной глееватой почвы (разрез 1-38)).

Для изучения гумусового профиля отбор образцов проводился сплошной колонкой через каждые 5–10 см с учетом границ генетических горизонтов. Состав гумуса определялся по методу Тюрина в модификации Пономаревой–Плотниковой [8].

**Обсуждение результатов.** Лугово-черноземная карбонатная среднегумусная среднемощная легкосуглинистая почва сформирована на пологой гриве между озерами Утичье-2 и Утичье-3. Для нее характерно наличие двух (кроме современного гумусового горизонта) толщ с относительным повышением содержания общего органического углерода (на глубине 28–32 и 90–140 см). Гумусовый профиль (рис. 1) имеет сложный характер, отражающий полигенетичность почвы. В нем обнаруживается два относительных максимума  $C_{ГК}:C_{ФК}$ , все фракции ГК также имеют по два относительных максимума в распределении их содержания по почвенному профилю.

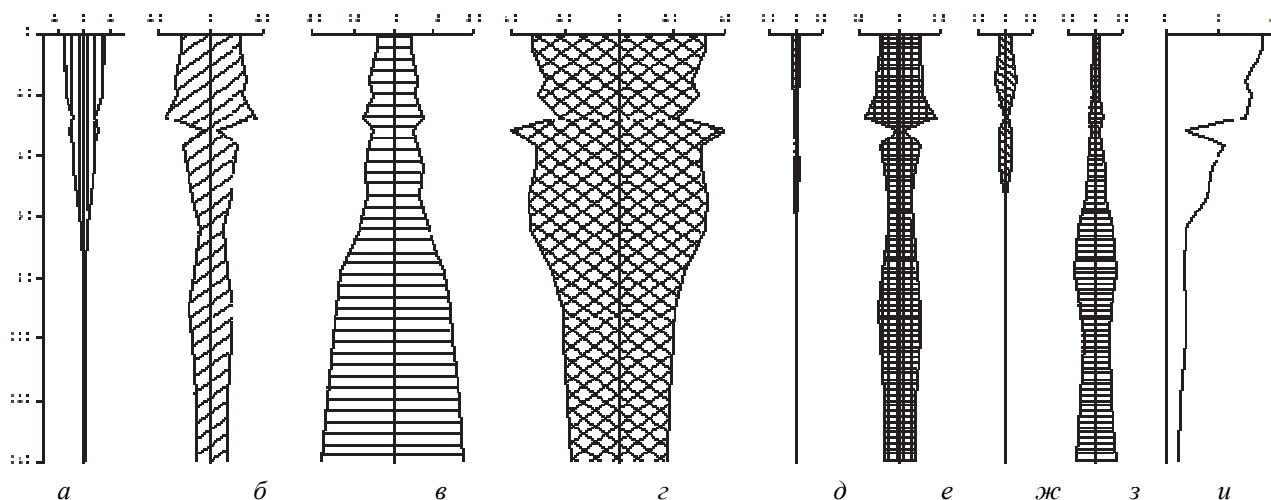


Рис. 1. Гумусовый профиль лугово-черноземной почвы (разрез 25-96А):

*a* – общий органический углерод, % к почве; содержание углерода групп и фракций гумусовых веществ, % к общему углероду; *б* – гуминовые кислоты (ГК); *в* – фульвокислоты (ФК); *г* – негидролизуемые формы гумуса; *д* – ГК фракции 1; *е* – ГК фракции 2; *ж* – ГК фракции 3; *з* – ФК фракции 1а4; *и* –  $C_{ГК}:C_{ФК}$

Горизонты А, АВ<sub>Са</sub>, В<sub>Са</sub> по характеристикам гумуса являются полифазными, в каждом из них выделяется по 2–3 зоны с различным содержанием ГК, ФК, негидролизуемого остатка, гуматов кальция. Чередование слоев с относительно пониженными и повышенными долями ГК и ФК указывает на неоднородность биоклиматических условий, в которых формировался профиль рассматриваемой почвы. Расширение отношения  $C_{ГК}:C_{ФК}$  в более глубоких горизонтах указывает на реликтовый характера гумуса, образованного в иных условиях почвообразования в прошлом.

Полигенезиспрофиля подтверждается и неоднородностью ГК по их элементному составу. В современном гумусовом горизонте отношение Н/С равно 0,90, а С/Н – 16,6, в то время как в слое с относительно повышенным содержанием органического углерода на глубине 28–32 см обуглероженность ГК существенно меньше, доля азота выше и соответственно отношение С/Н почти в 2 раза выше. Ниже этого горизонта лежит толща, сформированная, по видимому, в более теплых условиях. Содержание углерода здесь выше, а насыщенность ГК азотом близка к таковой в современном гумусовом горизонте. Глубже горизонты характеризуются, вероятно, относительно более холодными и более влажными условиями формирования, отношение Н/Св них более единицы. Можно полагать, что данная почва прошла в своем развитии более одной стадии гумусо- и почвообразования.

Другой объект исследования – серая лесная глееватая почва (разрез 1-38), сформированная на тайгинских глинах озерно-аллювиального генезиса под пологом черневого леса с разнотравным наземным покровом. Особенностью ее является наличие второго гумусового горизонта (ВГГ), залегающего довольно глубоко (в слое 40–70 см под гумусово-элювиальным горизонтом) и отличающегося от вышележащего горизонта более темной окраской. Хорошая сохранность ВГГ обусловлена в данном случае тяжелым гранулометрическим составом и повышенным гидроморфизмом, с чем связаны замедленные темпы процессов деградации темноцветного горизонта, сформированного на более ранних этапах развития почвы.

Для почвы характерно доминирование гуминовых кислот в гидролизуемой части гумуса лишь в верхнем 5-сантиметровом слое гумусово-аккумулятивного горизонта АУ, где  $C_{ГК}:C_{ФК}$  составляет 1,03 (тип гумуса фульватно-гуматный). С глубиной, в связи со снижением доли ГК и увеличением доли ФК, отмечается тенденция к сужению этого отношения, тип гумуса в горизонте АЕL становится гуматно-фульватным ( $C_{ГК}:C_{ФК}=0,63-0,81$ ). Однако во ВГГ доля ГК увеличивается до максимальных для данного профиля значений (26–35% от  $C_{общ}$ ), а доля ФК снижается, что сопровождается изменением типа гумуса (он становится фульватно-гуматным и гуматным,  $C_{ГК}:C_{ФК}=1,07-1,89$ ). В нижележащих слоях фульватность нарастает.

Максимум ГК во ВГГ (рис. 2) обусловлен увеличением доли второй фракции, представленной гуматами кальция, что характерно для почв этого рода и свидетельствует об иной природной обстановке при формировании почвы на предшествующих этапах эволюции.

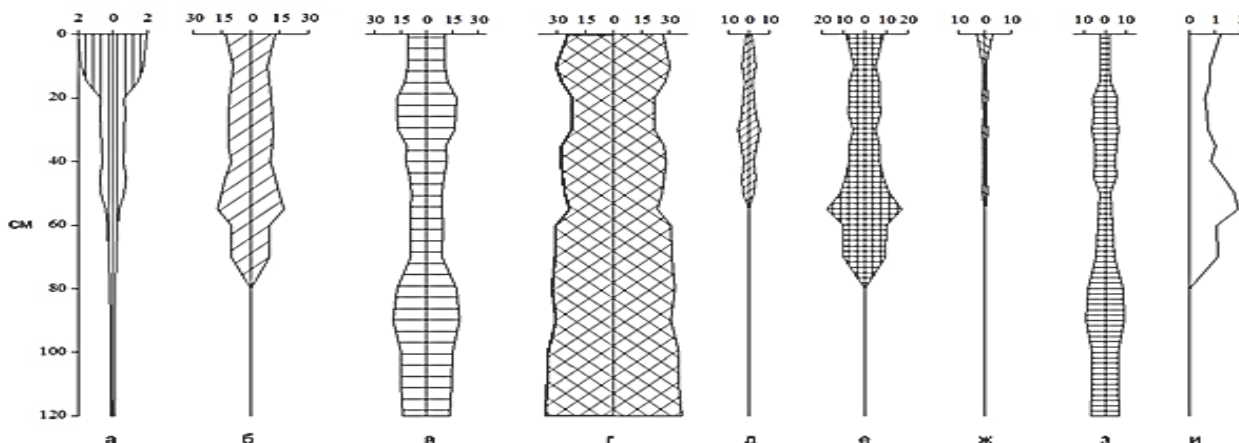


Рис. 2. Гумусовый профиль серой лесной глееватой почвы (разрез 1-38). Условные обозначения: см. рис. 1

ГК в составе гумуса описываемой почвы обнаружены лишь в верхней 70-сантиметровой толще, ниже этот компонент гумуса отсутствует. Вероятно, отложение минеральной составляющей, в пределах которой в настоящее время сформированы горизонты ВТ1 и ВТ<sub>2г</sub>, происходило в холодных условиях, исключающих процессы гумусообразования.

Характер распределения ФК по профилю почвы неоднозначен. Принимая во внимание высокую миграционную способность ФК, следует ожидать увеличение доли этого компонента гумуса с глубиной. Однако в данном профиле наблюдается иная картина: выделяется 4 зоны с разным уровнем накопления фульвокислот. Первая – в слое 0–15 см (21–25% от  $C_{общ}$ ), вторая – в слое 15–30 см (32–34%), третья – в слое 30–70 см (17–23%) и четвертая – ниже 70 см (27–38% от  $C_{общ}$ ). Подобный характер распределения гумусовых веществ в профиле свидетельствует о сложной эволюции почв в условиях меняющейся среды, в данном случае изменения влажности.

В связи с характером распределения по профилю ГК и ФК изменяется и содержание негидролизующего остатка. На долю гумина приходится от 43 до 72% от  $C_{общ}$ .

Во фракционном составе ГК доминируют гуматы кальция (10–35%) и лишь в средней части горизонта АЕL доля ГК-2 и ГК-1 равны. Новообразование гумусовых кислот протекает в первом полуметре (относительное содержание бурых ГК фракции 1 равно 3–10%), ниже гуминовые кислоты этой фракции не обнаружены. Доля прочносвязанных с глинистыми минералами ГК фракции 3, несмотря на тяжелый гранулометрический состав и высокое содержание тонких фракций, невелика и составляет 1–2% от  $C_{общ}$ , увеличиваясь лишь в верхней части современного гумусового горизонта до 6%. В распределении свободных ФК фракции 1а отмечается 2 относительных минимума (в слоях 0–15 см – 4–5% от  $C_{общ}$  и 45–70 см (второй гумусовый горизонт) – 5–9%) и 2 максимума (в слоях 15–45 см – 10–12% и 70–120 см – 12–18%).

Анализ гумусового профиля серой лесной глеевой почвы свидетельствует об ее полигенетичности, обусловленной формированием в условиях меняющейся климатической (гидро-



термической) обстановки. Информация о смене типа почвообразования (степного или лугового на лесной) зафиксирована в гумусовом профиле в характере распределения гуматов кальция и гуминовых кислот в целом, а также в особенностях изменения по профилю доли ФК и их свободной фракции. Второй гумусовый горизонт отличается максимальным накоплением ГК и в их составе черных фракций, минимальным содержанием ФК, а также гуматным типом гумуса, что свидетельствует в пользу того, что процесс гумусообразования в период формирования этой части профиля протекал в более теплых и менее влажных по сравнению с современными условиях почвообразования под растительностью, обогащенной основаниями, в насыщенной биогенным кальцием среде, что способствовало прочному закреплению образующихся гумусовых веществ в форме стабильных компонентов – гуматов кальция.

**Заключение.** Гумусовые профили исследованных почв имеют сложное строение и отражают их контрастную эволюцию. Информация об изменении природных условий, фазах и стадиях педогенеза фиксируется в характере изменения по профилям отношения углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот, в распределении доли гуматов кальция и гуминовых кислот в целом, фульвокислот и их свободной фракции. Гумусовые профили являются надежными носителями «почвенной памяти» и могут использоваться в качестве инструмента для считывания информации об эволюции природной среды на протяжении периода формирования почвенного тела.

### Литература

1. Таргульян В.О. Память почв: формирование, носители, пространственно-временное разнообразие // Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий / отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 24–57.
2. Дергачева М.И. Гумусовая память почв // Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий / отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 530–560.
3. Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика. Новосибирск: Наука, 1984. 155 с.
4. Дергачева М.И., Рябова Н.Н. Коррелятивные связи состава гумуса и климатических показателей в условиях горных территорий юга Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2005. № 15. С. 68–71.
5. Каллас Е.В., Кубрина Е.В. Специфика гумусового профиля лугово-черноземных почв южной тайги Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2008. № 1 (2). С. 63–70.
6. Каллас Е.В. Отражение стадийности и фазисальности почвообразования в гумусовых профилях лесостепных почв Кузнецкой котловины // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 6 (100). С. 573–578.
7. Каллас Е.В. Гумусовые профили почв подтайги Западной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2009. Вып. 4. С. 30–36.
8. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Методическая указания по определению содержания и состава гумуса в почвах. Л., 1975. 106 с.

### THE HUMUS PROFILE OF SOILS AS A CARRIER OF INFORMATION ABOUT THE EVOLUTION OF THE NATURAL ENVIRONMENT AND THE STAGES OF SOIL FORMATION

E.V. Kallas

National Research Tomsk State University, Tomsk, lkallas@sibmail.com

**Summary.** *Humus profiles as carriers of “soil memory” are considered on the example of meadow-chnozemsoil Chulym-Yenisei depression and grey forest soil of ecotone taiga-steppe Tom'-Yaya interfluve. It is shown that humus profiles reflect the complex contrast evolution of soils and the different phases and stages of pedogenesis, record information about changing types of soil formation in the nature of changes in C<sub>gk</sub>:C<sub>fk</sub>, the distribution of the proportion of calcium humates and humic acid as a whole, fulvic acids and their free fraction.*

**Keywords:** *humus profiles, evolution of soils, humic acid, fulvic acids, phases and stages of pedogenesis.*

## ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫЕ ПОЧВЫ СО ВТОРЫМ ГУМУСОВЫМ ГОРИЗОНТОМ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

В.С. Карелина

Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, pochva22@mail.ru

**Аннотация.** *Изучение почв со вторым гумусовым горизонтом на территории Западной Сибири началось более ста лет назад. За это время появился ряд гипотез генезиса, зачастую противоречащие друг другу. В систематическом списке почв ЕГРПР на территории Алтайского края почвы со вторым гумусовым горизонтом не выделены, однако в результате наших исследований удалось их обнаружить. Установлены физико-химические, морфологические особенности и ферментативная активность данных почв, их принадлежность к микрорельефу.*

**Ключевые слова:** *почвы со вторым гумусовым горизонтом, дерново-подзолистые почвы, лесные почвы, интразональные почвы.*

Почвы со сложным органопротилем (вторым, третьим гумусовым горизонтом), без сомнения являются продуктом эволюции почвенного покрова. Данные образования получили наибольшее распространение под пологом лесной растительности, среди серых лесных и дерново-подзолистых почв, в виде сплошных полос или пятен, четко выраженных на фоне оподзоленного горизонта.

Более ста лет почвоведомы России ведется изучение генезиса почв со сложным органопротилем, однако общее мнение до сих пор не достигнуто. Первые гипотезы реликтового происхождения второго гумусового горизонта были высказаны Д.А. Драницыным, еще в 1914 году [1]. Позднее ряд авторов высказали мысли о современном происхождении данного образования, а также появились синтетические теории.

Согласно национальному атласу почв России на территории Западной Сибири почвы со вторым гумусовым горизонтом приурочены к южнотаежной подзоне и наибольшую сохранность получили на тяжелых по гранулометрическому составу, карбонатных почвообразующих породах. По данным Единого Государственного Реестра почвенных ресурсов РФ (ЕГРПР) среди почвенных индивидуумов Алтайского края нет почв со вторым гумусовым горизонтом [2]. Однако, в результате наших исследований удалось их обнаружить.

Цель работы заключалась в описании и характеристике современного состояния дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом лесостепной зоны Алтайского края.

Дерново-подзолистые почвы являются интразональными на территории края, в левобережье р.Оби распространены под Ленточными борами, от Кулундинской степной засушливой зоны, до лесостепной умеренно влажной. В условиях правобережья занимают пойму р.Оби, распространены в пределах Бийско-Чумышской возвышенности и предгорий Салаира [3].

Объектом исследований послужили дерново-подзолистые почвы со вторым гумусовым горизонтом лесостепной зоны края. В ходе работы были заложены почвенные разрезы в пределах Барнаульской ленты Ленточного бора, на водоразделе рек Обь и Барнаулка, а также в пойме Оби. Климатические условия районов исследований теплые, недостаточно увлажненные, коэффициент увлажнения 0,8–1,5 [4]. Почвообразующие породы бескарбонатные древнеаллювиальные песчаные отложения. Ландшафт участков интразональный песчано-боровый с брусничными сосняками [3]. В ленточных борах состав древостоя 10С, в Приобском правобережье (в пойме р.Оби) 8С2Б.

В работе использовали общепринятые методики. Плотность древесного угля определяли объемно-весовым методом [5].

Отмечена связь наличия второго гумусового горизонта в профиле дерново-подзолистой почвы и микрорельефа территории. Диагностический горизонт обнаружен в почвах межгрядных западин, с перепадом высот 80–120 см, под типичной растительностью.

Для всех исследуемых почв характерны следующие свойства: легкий гранулометрический состав с содержанием физического песка до 98%, слабокислая реакция почвенного раствора

( $pH_b=5,11-6,3$ ), низкая насыщенность почв Ленточных боров основаниями (41–52%) и средняя Приобья (62–77%), низкая обеспеченность подвижными элементами питания. Ферментативная активность дневных и вторых гумусовых горизонтов высокая по протеазе (80–95% разложения желатина), каталазе ( $2,0-4,2 \text{ O}_2 \text{ см}^3/\text{г}$  за мин) и низкая по уреазе (изменение  $pH/24\text{ч}$  0,3–2,3), при этом в подзолистой толще ферментативная активность низкая по всем ферментам.

В морфологическом строении имеется общая закономерность – аккумуляция древесного угля в верхних частях вторых гумусовых горизонтах, в виде отдельных крупных частиц диаметром до 5–6 см и сплошных слоев в виде мелких углей не превышающих 0,5 см в диаметре. По кажущейся плотности определили породу дерева. Плотность  $0,29 \text{ г/см}^3$  характерная для сосны обыкновенной [5] распространена на данной территории. Глубина залегания крупных частиц угля в профиле дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом достигает 70 см.

Строение вскрытых почвенных профилей не имеет четких закономерностей. Мощность дневных гумусовых горизонтов составляет от 3 до 30 см. Дерново-подзолистые почвы Ленточных боров обладают мощными светокрашенными подзолистыми горизонтами, глубина залегания иллювиального горизонта достигает более 90 см. Почвы поймы р.Оби характеризуются меньшей интенсивностью подзолистого процесса, эллювиальный горизонт менее выражен.

Вторые гумусовые горизонты (ВГГ) дерново-подзолистых почв имеют вариации. Встречаются сплошные полосы, залегающие на глубине 14–19 см, их мощность в среднем 12–14 см, окраска темно-серая, приближена к гумусово-аккумулятивному горизонту. В отдельных случаях содержание гумуса в ВГГ превышает таковое в верхнем горизонте.

В пойме Оби была вскрыта дерново-подзолистая почва со вторым гумусовым горизонтом, залегающим на глубине 19–30 см, в виде сплошной полосы. Лесная подстилка практически отсутствует, гумусово-аккумулятивный горизонт не выражен, ВГГ перекрывают гумусово-эллювиальный и эллювиальный горизонт. Почва слабо-кислая ( $pH_b=5,7$ , в слое 0–10 см), вниз по профилю несколько подщелачивается ( $pH_b=6,3$  в слое 20–30 см). Содержание гумуса в слое 0–5 см составляет 0,19%, в эллювиальной толще (8–15 см) не превышает 0,01%, однако во втором гумусовом горизонте, на глубине 19–30 см достигает 2,1%. Активность почвенных ферментов аналогична гумусово-эллювиальному горизонту.

В случае когда ВГГ представлен в виде пятен, «линз» содержание гумуса в данном горизонте ниже, чем в дневном. Характерным примером является почва обнаруженная в Ленточном бору в межгрядной западине. Мощность дневного гумусово-аккумулятивного горизонта составила 16 см, содержание гумуса 1,68%. В данном случае были обнаружены второй и третий гумусовый горизонты на фоне подзолистого горизонта, в виде пятен серого и светло-серого цвета на глубине 36–52 см и 67–77 см, соответственно. Ширина «линз» составила около 60 и 40 см. Содержание гумуса в фоновой подзолистой толще 0,12%, во втором гумусовом горизонте 1,05%, в третьем 1,46%. Также для пятен вторых и третьих гумусовых горизонтов характерна повышенная насыщенность основаниями (64,2% и 75,6%), по сравнению с подзолистой толщей на аналогичной глубине (60,2% и 71,8%). Разложение желатина под действием протеазы во втором гумусовом горизонте (93%) сравнимо с разложением в гумусово-аккумулятивном (94%), в третьем ниже (50,9%). Активность каталазы, катализирующей разложение перекиси водорода ниже –  $3,5 \text{ O}_2 \text{ см}^3/\text{г}$  за мин в слое 0–5 см,  $2,0 \text{ O}_2 \text{ см}^3/\text{г}$  за мин в слое 46–52 см и  $0,9 \text{ O}_2 \text{ см}^3/\text{г}$  за мин в слое 67–77 см.

Согласно полученным данным предполагаем полигенетичность дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом лесостепной зоны края.

Планируются дальнейшие исследования для разработки модели формирования вторых гумусовых горизонтов, внесение предложения включить почвы со вторым гумусовым горизонтом в систематический список почв Алтайского края в ЕГРПР.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 18-34-00421, мол. а.*

## Литература

1. Драницын Д.А. Вторичные подзолы и перемещение подзолистой зоны на север Обь-Итышского водораздела // Изв. Докуч. почв. ком. 1914. № 2. С. 1–34.
2. Единый государственный реестр почвенных ресурсов, почвы Алтайского края. URL: <http://atlas.mcx.ru/materials/egrpr/content/2рос.html>
3. Бурлакова Л.М., Рассыпнов В.А. Почвы алтайского края: учебное пособие. Барнаул, 1988. 72 с.
4. Агроклиматические ресурсы Алтайского края. Л.: Гидрометиздат, 1971. 256 с.
5. Кольшкин Д.А., Михайлова К.К. Активные угли. Справочник. Л.: Химия, 1972. 56 с.

### **SOD-PODZOLIC SOIL WITH A SECOND HUMUS HORIZON IN FOREST-STEPPE ZONE OF THE ALTAI TERRITORY**

V.S. Karelin

Altai State Agrarian University, Barnaul, pochva22@mail.ru

**Summary.** *Sod-podzolic soils with a second humus horizon in the forest-steppe zone of the Altai territory were investigated. Physicochemical, morphological properties and enzymatic activity of soils were established*

**Keywords:** *soils with a second humus horizon, sod-podzolic soils, forest soils, intrazonal soils.*

## КРИОГЕННЫЕ ПРИЗНАКИ В ПОЧВАХ МЕЛОВЫХ ПОЛИГОНОВ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

И.В. Ковда<sup>1,2</sup>, А.Г. Рябуха<sup>3</sup>, Д.Г. Поляков<sup>4</sup>, С.В. Левыкин<sup>3</sup>, В.П. Петрищев<sup>3</sup>,  
И.Г. Яковлев<sup>3</sup>, С.Ю. Норейка<sup>3</sup>, Р.В. Ряхов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, ikovda@mail.ru

<sup>2</sup> Институт географии РАН, Москва

<sup>3</sup> Институт степи УрО РАН, Оренбург, annaryabukha@yandex.ru

<sup>4</sup> Оренбургский научный центр УрО РАН, Оренбург, electropismo@yandex.ru

**Аннотация.** Проведено морфологическое изучение почв, сформированных на меловых отложениях в степной зоне Приуралья. Почвы сформированы в условиях континентального климата ( $T_{ср.год.}$  4°C) и имеют микрорельеф на поверхности. Траншея, секущая микрорельеф, вскрыла мозаичное строение почв интрузиями мелового материала, прорывающегося на поверхность на микроповышениях. В микропонижении прослеживается клин (трещина) до глубины 120 см. Почвенный материал имеет вихревой рисунок и по всей глубине характеризуется шлировой текстурой. Предположительно микрорельеф является палеокриогенным и поддерживается современными процессами, а почвы сочетают палео- и оверменные криогенные признаки.

**Ключевые слова:** микрорельеф, палеокриогенез, криогенные процессы.

**Введение.** На территории юга Европейской части России в окраинной части Восточно-Европейской равнины встречаются меловые ландшафты, приуроченные к выходам или близкому залеганию меломергельных пород. Такие ландшафты известны, например, в Белгородской, Волгоградской, Воронежской, Липецкой, Оренбургской, Ростовской областях и привлекают особое внимание как уникальные природоохранные объекты, представляющие особый интерес как кальциефильные ландшафты с высоким уровнем эндемизма и реликтовости флоры, хранители палеонтологической информации. В.Б. Михно (2010) изучавший меловые ландшафты юга Среднерусской возвышенности писал, что формирование меловых ландшафтов охватывает длительный период от времени континентального развития, предшествовавшего палеогеновой трансгрессии, до наших дней. Им выделены палеоландшафты и современные меловые ландшафты и отмечена целесообразность изучения карстовых образований в качестве индикаторов развития территории [1].

Нами ставилась задача изучения специфического микрорельефа, распространенного на территориях близкого залегания меловых пород. Такие объекты были ранее описаны на территории Оренбургской области и прилегающей территории республики Казахстан [2–4] и представляют собой микрорельеф различной степени выраженности по высоте (до 50 см) с выходами меловых пород на поверхность, имеющими различную степень задернованности. Микрорельеф имеет регулярное линейное распространение и образует полигональную сеть, в связи с чем получил название «меловые полигоны». Генезис меловых полигонов до настоящего времени не имеет однозначной интерпретации. Их формирование связывают как с криогенными процессами, так и с набуханием и выпучиванием глин [2–4]. В данной работе приводятся результаты полевого исследования меловых полигонов выполненные с целью уточнения их генезиса и современного функционирования.

**Объекты и методы исследования.** Полевые исследования проводились ключевом участке «Новопавловские меловые полигоны», расположенном восточнее п. Новопавловка Акбулакского района (51°08'10" сш, 55°37'16" вд). Поля меловых полигонов занимают площадь около 6 га и приурочены к слабопологому склону р. Акмола, сложенному верхнемеловыми породами маастрихтского яруса и являются переходом к Илекскому плато.

Территория является частью Подуральско-Илекской возвышенной степной провинции, для которой характерны суббореальные континентальные восточно-европейские сухостепные ландшафты, представленные аллювиальными и денудационными холмисто-увалистыми

равнинами [5]. Изучаемый участок с выраженными меловыми полигонами расположен на абсолютных высотах ~185 м над уровнем моря.

Климат континентальный ( $T_{\text{ср.год}} \sim 4^{\circ}\text{C}$ ) с холодной малоснежной зимой (ср.  $T_{\text{январь}} -15^{\circ}\text{C}$ ), жарким летом (ср.  $T_{\text{июль}} 21^{\circ}\text{C}$ ) и значительным преобладанием испарения (800–900 мм) над осадками (260–390 мм); гидротермический коэффициент составляет менее 0,6. Продолжительность безморозного периода составляет около 140 дней [6].

Зональный почвенный покров представлен черноземами южными, солонцами и солонцеватыми почвами, характерна комплексность почвенного и растительного покрова. Глубина зимнего промерзания составляет 120–140 см (на февраль), высота снежного покрова около 30 см (средняя из наибольших декадных) [7].

В ботанико-географическом отношении изучаемая территория относится к типчаково-ковыльным степям Заволжско-Казахстанской степной провинции [8].

Полевые работы выполнены в 2017–2018 гг. Почвы меловых полигонов изучались в прикопках глубиной до 60–80 см, заложенных на различных элементах микрорельефа. Для более детального изучения в 2018 году была заложена траншея между вершинами двух меловых бугров, секущая расположенное между ними понижение, протяженностью около 4 метров и глубиной ~120 см. Морфологическое описание, зарисовка строения и фотографирование проводилось по всем четырем стенкам траншеи. Дополнительно зафиксированы два горизонтальных среза в траншее на уровне ~30 см и 60 см. Почвенные образцы отобраны по генетическим горизонтам для дальнейшего лабораторного исследования. Образцы ненарушенного сложения отобраны для изготовления почвенных шлифов.

Дополнительно были изучены космические снимки на данную территорию.

#### **Результаты.**

*Микрорельеф и растительность.* Структура ключевого участка представляет собой серию изометричных микроповышений, имеющих форму выпуклых многоугольников (пяти или шестиугольников), разделенных вытянутыми микропонижениями (рис. 1.).

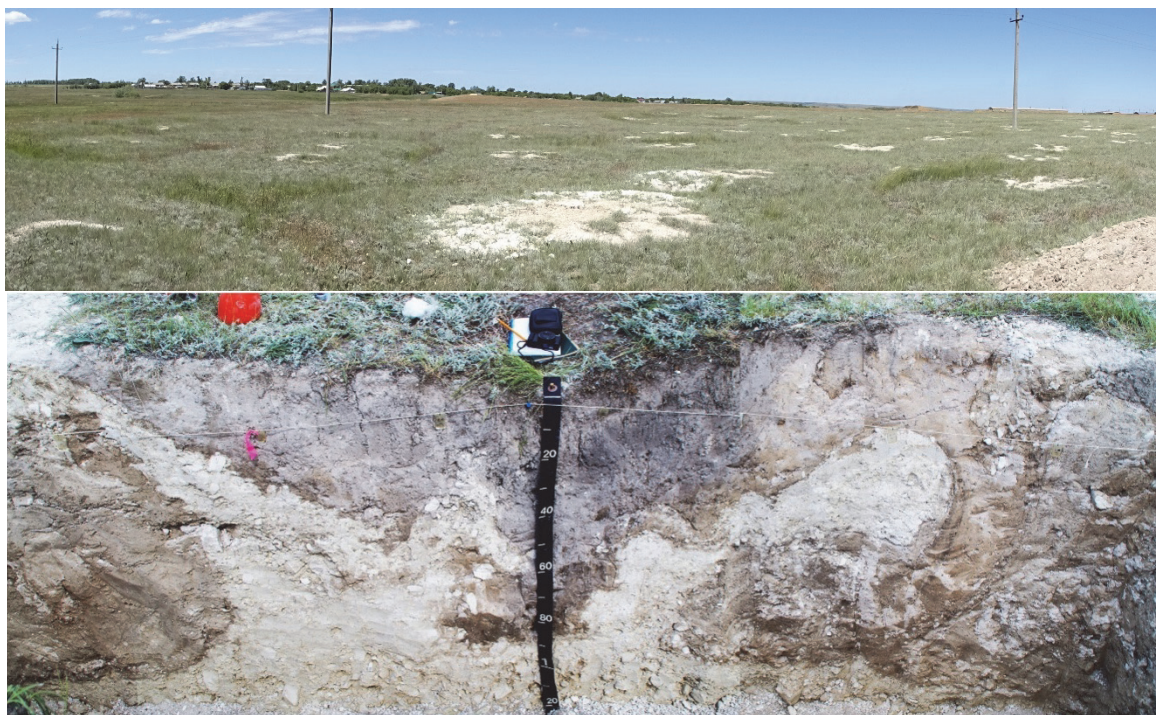


Рис. 1. Общий вид территории с меловыми полигонами. Внизу – строение передней стенки траншеи

Диаметр микроповышений в среднем около 5 м, высота до 30–50 см. Они имеют плоскую или слегка выпуклую поверхность, лишенную растительности и разбиты на отдельные сегменты системой заросших растительностью пониженных полос, напоминая пятиконечные звезды или цветки. Незадернованная меловая поверхность микроповышений при проведении

полевых работ в июне была плотной, с обильным включением мелового щебня и дресвы, обломков белемнитов. Описанные микроповышения образуют упорядоченные полигональные системы, напоминающее соты.

Микроповышения разделены между собой четко выраженными ложбинообразными вытянутыми понижениями, глубиной 20–30 см и шириной до 30–40 см, густо заросшими растительностью.

Растительный покров четко дифференцирован в зависимости от элементов микрорельефа. Вытянутые микропонижения и примыкающие к ним микросклоны закреплены растительностью, состоящей из овсяницы волжской, тонконога стройного, полыни австрийской, кермека Гмелина, комфоросмы монпельйской. Растительность микропонижений имеет более высокое проективное покрытие. Выпуклые меловые поверхности обычно лишены растительности или покрыты единичными экземплярами франкении волосистой и подорожника морского.

*Строение почв.* Вскрытая в траншее почвенная толща выявила пространственную неоднородность строения почв, что характерно при наличии микрорельефа, а также мозаичное строение почв. Нормальная вертикальная последовательность горизонтов была практически повсеместно нарушена. При наличии общей двучленности строения почв с верхней серовато-палевой суглинистой толщей, переходящей книзу в меловой материал различной степени консолидации, все четыре вертикальные стенки траншеи имели свой облик и отличались друг от друга морфологически.

Передняя и задняя стенки имеют в центральной углубленной части вертикальную трещину на всю глубину траншеи, которая также хорошо прослеживается в горизонтальных срезах. На передней стенке трещина имеет вид загнутого гумусового клина с бахромчатым окончанием. Прилегающая к клину почвенная масса имеет вид темноцветной более гумусированной линзы глубиной около 50 см и длиной около 100 см. От основания трещины (клина) под углом около 45° влево и вправо расходятся белые интрузии мелового материала. Интрузии имеют различный облик: как достигающие поверхности клиновидные с прямыми границами, так и широкие, волнистые, изогнутые в виде округлого завихрений. Прилегающая к интрузиям почвенная масса буровато-коричневая, с обильными включениями окатанного мелового щебня. Между интрузиями расположены однородные палевые светлые зоны практически лишенные меловых щебнистых включений.

Задняя стенка траншеи имеет сходное строение, однако углубление на поверхности менее выражено, темноцветность почвенной массы слабее, центральная вертикальная трещина более узкая и быстро превращается в волосяную трещину. Граница суглинистого и мелового материала более ровная и резкая, без интрузий и завихрений.

Южная боковая стенка имеет слегка изогнутую меловую интрузию постоянной ширины 5–7 см, идущую от задней стенки траншеи под углом ~60° к поверхности в центре боковой стенки. Левее наклонной интрузии в верхней части разреза при подсыхании появилась серия субпараллельных горизонтальных открытых трещин с периодичностью 4–5 см.

Северная боковая стенка, расположенная непосредственно под меловым пятном на поверхности почвы наиболее монотонная, не дифференцирована на горизонты, и состоит из трех вертикальных зон: палевой с редкими включениями меловой щебенки, средней темнопалевой, и палевой с обильной меловой щебенкой.

На всех стенках при подсыхании появляется белесый налет солей.

Размер меловых обломков в нижней части траншеи наиболее крупный, они образуют сплошную массу. Степень окатанности возрастает при движении к поверхности почвы одновременно с уменьшением диаметра меловых включений.

Суглинистый почвенный материал и материал, насыщенный мелкими меловыми включениями, имеет выраженную горизонтальную делимость от нескольких миллиметров до 4–5 см.

**Обсуждение и выводы.** Предварительное изучение микрорельефа и почвенных признаков показали очевидное сходство изученных объектов с микрорельефом и почвами регионов, подверженных криогенезу в условиях многолетней мерзлоты. Ввиду отсутствия мерзлоты в

Оренбургской области мы полагаем, что данный микрорельеф является разновидностью реликтового криогенного микрорельефа (или морфоскульптуры). Аналогичный микрорельеф в настоящее время можно увидеть на участках деградации жильных льдов в Якутии. Почвы, вскрытые траншеей, секущей микрорельеф, также обнаружили комплекс криогенных признаков: мерзлотное пучение, инволюции и шлировую текстуру почвенной массы, трещины, криогенное дробление и сортировку крупнозема. Меловые обломки различного размера и степени окатанности распределены крайне неравномерно. Они оконтуривают криогенные завихрения и выпучивания, а также образуют зоны скопления разнообразной формы. С меловыми интрузиями обломки попадают на поверхность меловых пятен на микроповышениях.

Наиболее интересным является современное функционирование данного объекта т.к. наблюдаемые признаки указывают на то, что мерзлотные процессы, включая интрузии и излияние мела на поверхность подобно тому, как это происходит при пятнообразовании в тундровых криоземах севера Якутии [9], происходят на меловых полигонах в Оренбургской области и в настоящее время при отсутствии многолетней мерзлоты. В пределах одного ключевого участка мы наблюдали меловые полигоны различной степени свежести: от свежих белых вспухших поверхностей до плоских неактивных и полностью задернованных. Судя по распространению в ландшафтах участков с сохранившимися меловыми полигонами, они приурочены к депрессиям современного рельефа, в которых сочетается близкое залегание элювия меловых пород, а также имеется дополнительное грунтовое увлажнение за счет неглубокого залегания грунтовых вод или аккумуляирования верховодки. Дополнительная грунтовая влага способствует увлажнению мелового материала, его переходу в тиксотропное состояние и выдавливанию. За счет различия гидротермических параметров темноцветных заросших густой растительностью микропонижений и лишенных растительности микроповышений, промерзание и оттаивание почвенного материала происходит дифференцированно во времени и с различной интенсивностью, что способствует поддержанию реликтового криогенного микрорельефа и является с одной стороны экстремальным проявлением криогенных процессов в условиях отсутствия многолетней мерзлоты, а с другой стороны примером того, как «память» почвенного покрова определяет его современное функционирование.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного Фонда, грант № 14-27-00133.*

### Литература

1. Михно В.Б. Карст как индикатор развития меловых ландшафтов Среднерусской возвышенности // Вестник ВГУ, серия: география, геоэкология. 2010. № 2. С. 25–30.
2. Геологические памятники природы Оренбургской области / А.А. Чибилев, Г.Д. Мусихин, В.М. Павлейчик, В.П. Петрищев, Ж.Т. Сивохиц. Оренбург: Оренб. кн. изд-во, 2000. 400 с.
3. Красная книга почв Оренбургской области / А.И. Климентьев, А.А. Чибилев, Е.В. Блохин, И.В. Грошев. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 295 с.
4. Михно В.Б. Меловые ландшафты Восточно-Европейской равнины. Воронеж: Петровский сквер, 1992. 232 с.
5. Оренбуржье. Т. 1: Природа / автор тома А.А. Чибилёв, гл. ред. И.А. Бехтерев. Калуга: Золотая аллея, 2000. 192 с.
6. Географический атлас Оренбургской области. М.: ДИК, 1999. 96 с.
7. Атлас Оренбургской области. Омск: Роскартография, 1993. 40 с.
8. Ботанико-географическое районирование европейской части СССР. М 1: 120 000 000. М.: ГугК, 1979. 1 л.
9. Губин С.В., Лупачев А.В. Роль пятнообразования в формировании и развитии криоземов Приморских низменностей севера Якутии // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1283–1295.



## CRYOGENIC FEATURES IN SOILS OF CHALKY POLYGONS, ORENBURG REGION

I.V.Kovda<sup>1,2</sup>, A.G. Ryabukha<sup>3</sup>, Polyakov D.G.<sup>4</sup>, Levykin S.V.<sup>3</sup>, Petrishev V.P.<sup>3</sup>, I.G. Yakovlev<sup>3</sup>, S.Yu. Noreika<sup>3</sup>, R.V. Ryakhov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> V.V. Dokuchaev Soil Institute, Moscow, ikovda@mail.ru

<sup>2</sup> Institute of Geography RAS, Moscow

<sup>3</sup> Steppe Institute RAS, Orenburg, annaryabukha@yandex.ru

<sup>4</sup> Orenburg Scientific Center, Orenburg, electropismo@yandex.ru

**Summary.** *Morphological features were studied in soils formed on Cretaceous material in steppe zone in Cis-Urals. Soils are formed under continental climate with mean annual air temperature 4°C and have the microrelief on the surface. Soils were studied in the trench across the microrelief. Mosaic soil fabric was discovered instead of regular soil horizonation. Chalky intrusions from the bottom horizon arise across the soil material up to the soil surface. Deep fissure up to 120 cm depth in form of wedge infilled by dark material occur in the center of the microdepression. Groundmass is characterized by the turbic features and schlieren texture. Apparently, the microrelief has cryogenic origin and is supported by modern processes. Soil morphology shows the combination of paleo- and modern cryogenic features.*

**Keywords:** *microrelief, paleocryogenic, cryogenic processes.*

## СПЕЦИФИКА ГЕНЕЗИСА И ЭВОЛЮЦИИ ПОЧВ ЮЖНОГО ПРЕДБАЙКАЛЬЯ

А.А. Козлова

Иркутский государственный университет, Иркутск, allak2008@mail.ru

**Аннотация.** В работе приведено описание факторов почвообразования Южного Предбайкалья региона, своеобразии которых обусловлено сложной историей развития природной среды региона, что способствовало формированию сложного и разнообразного почвенного покрова региона, самобытности свойств почв. Эти обстоятельства вызывают существенные затруднения в их диагностике и классификации почв, а также низкую устойчивость к антропогенным воздействиям.

**Ключевые слова:** природная среда, самобытность свойств почв, разнообразие почвенного покрова, диагностика и классификация почв, морфоаналитическая характеристика почв.

**Актуальность.** Актуальность исследования вызвана большой уязвимостью почвенного покрова Южное Предбайкалье к антропогенным воздействиям, что обуславливает существенное его ухудшение состояния, низкие темпы его восстановления. Регион находится в глубине Евразийского континента и включает Иркутско-Черемховскую равнину, южную часть Предбайкальской впадины, а также Приольхонское плато [1]. Территория благоприятна для хозяйственной деятельности человека. При этом на ограниченной площади сконцентрированы резкоконтрастные почвы (от подтаежных до сухостепных), чему способствует расчлененный рельеф, распространение многолетней мерзлоты, недостаточная теплообеспеченность. Они и снижают устойчивость почв к антропогенным воздействиям.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования стали основные типы почв Южного Предбайкалья подтайги, лесостепи, настоящей и сухой степи. Проведена их диагностика и установлена классификационная принадлежность с позиции субстантивно-генетического подхода «Классификации и диагностики почв России» [2], что позволяет отразить реальную специфику их строения и свойств (табл. 1).

Определение классификационной принадлежности почв было проведено по диагностическим показателям, которые определялись общепринятыми методами [3, 4, 5]: гранулометрический состав – ускоренным пирофосфатным методом; актуальная и обменная кислотность – потенциометрическим методом; содержание гумуса – методом Тюрина в модификации Никитина; обменный кальций и магний – универсальным методом Тюрина; обменный водород – методом Каппена; обменный натрий – методом Гедройца; содержание карбонатов – газиметрическим методом; состав легкорастворимых солей – методом ионной хроматографии ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) и методом атомной абсорбции ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ).

**Обсуждение результатов.** Почвы подтаежных ландшафтов (дерново-подзолистая, дерново-карбонатная, дерновая лесная) по своим морфоаналитическим характеристикам в значительной степени отличаются от Европейских аналогов. В связи с сухостью климата, основностью пород, длительно сезоннопромерзающим типом температурного режима, периодически промывным типом и криогенным подтипом водного, процессы подзолообразования в настоящее время в них заторможены (табл. 2).

Для них характерно несоответствие строения профиля с морфологически выраженной элювиально-иллювиальной дифференциацией профиля их свойствам, которое проявляется в невысокой кислотности, обогащении гумусом и обменными основаниями верхних горизонтов почв. Утяжеление гранулометрического состава срединного горизонта в дерново-подзолистой и дерновой лесной почве (буроземе оподзоленном) вызвано процессом механического перемещения тонкодисперсных частиц из элювиальной толщи в иллювиальную. Формирование дерново-карбонатных и дерновых лесных почв региона обусловлено физико-географическими особенностями, в частности составом и свойствами почвообразующих пород. Как правило, высокое содержание кальция в почвообразующей породе способствует

нейтрализации кислых продуктов растительных остатков, подавляя развитие подзолистого процесса. В целом, причиной дифференциации профиля исследуемых почв может быть литогенная неоднородность почв, связанная с разновозрастностью горизонтов [6].

Т а б л и ц а 1

**Систематический список исследуемых почв Южного Предбайкалья**

Формула профиля	Классификации-1977	Формула профиля	Классификации-2004
<b>ПОЧВЫ ПОДТАЙГИ</b>			
Отдел текстурно-дифференцированных почв			
O-Ad-E-BE-BT-C	Дерново-подзолистая	AУ-EL-BEL-BT-C	Дерново-подзолистая типичная
Отдел структурно-метаморфических почв			
Ad-Aca-ABca-Bca-BCsa-Csa-Dca	Дерново-карбонатная типичная	AУca-BMca-Cca	Бурозем темногумусовый остаточно-карбонатный
O-Ad-A-B <sub>1</sub> -B <sub>2</sub> -C	Дерновая лесная типичная	AУe-BM-C	Бурозем оподзоленный отдела структурно-метаморфических почв
<b>ПОЧВЫ ЛЕСОСТЕПИ</b>			
Отдел текстурно-дифференцированных почв			
O-Ad-AE-BE-Bt-C	Светло-серая лесная типичная	AУ-BEL-BT-C	Дерново-буро-подзолистая типичная
O-Ad-A-AE-BE-Bt-Cca	Серая лесная остаточно-карбонатная	AУ-AEL-BEL-BT-Cca	Серая типичная
Отдел структурно-метаморфических почв			
O-Ad-A-AB-B <sub>1</sub> -B <sub>2</sub> -Cca	Серая лесная остаточно-карбонатная	AУ-AEL-BM-Cca	Серая метаморфическая
Отдел аккумулятивно-гумусовых почв			
A-AB-B-Cca	Чернозем выщелоченный	AУ-BI-Cca	Чернозем глинисто-иллювиальный типичный
<b>ПОЧВЫ НАСТОЯЩЕЙ И СУХОЙ СТЕПИ</b>			
Отдел аккумулятивно-гумусовых почв			
A-AB-Bca-Cca	Чернозем обыкновенный	AУ-BCA-Cca	Чернозем дисперсно-карбонатный
Отдел аккумулятивно-карбонатных почв			
A-ABca-Bca-C1ca-C2ca	Каштановая типичная	AJ-BMK-BM-CAT-Cca	Каштановая типичная

Особенностью серых лесных почв лесостепи региона можно считать их развитие под пологом светлохвойно-лиственных (сосново-березовых), являющихся производными, вторичными. Этим они принципиально отличаются от своих Европейских аналогов, так как в регионе нет тех широколиственных лесов, под которыми развиваются классические серые лесные почвы. Наиболее мобильные свойства почв, а именно невысокая кислотность, обогащенность гумусом и обменными основаниями верхних горизонтов элювиально-иллювиального профиля отражают влияние современной растительности и процессов почвообразования, а консервативные свойства, такие как гранулометрический состав соответствуют прежним условиям и былой растительности, под влиянием которых сформировался дифференцированный по подзолисту типу профиль почв (табл. 2). Криогенная метаморфизация почв способствует снижению растворимости многих элементов, что ведет к обогащению почв легко- и труднорастворимыми соединениями и уменьшению химического стока, что является причиной низкой кислотности серых лесных почв.

Специфические свойства региональных черноземов обусловлены особенностями их развития в определенной физико-географической среде, что позволяет отнести их по температурному режиму к фациальному подтипу умеренно-холодных длительно промерзающих почв, по водному – к непромывному (импермацидному) типу криогенному подтипу, характеризующемуся недостаточным увлажнением при наличии поздно оттаивающей сезонной мерзлоты. Влияние резко континентального климата и невысокой теплообеспеченности сказывается на таких их особенностях как: пониженная мощность гумусового профиля при вы-

соком содержания гумуса в верхнем горизонте, небольшие запасы гумуса и элементов питания, интенсивное промерзание и длительное сохранение сезонной мерзлоты. Этим они значительной степени отличаются от своих европейских аналогов (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

**Химические, физические и физико-химические свойства исследуемых почв Южного Предбайкалья**

Горизонт, глубина, см	рН		%, гумуса	%, CaCO <sub>3</sub>	Обменные катионы, мг-экв / 100 г почвы				% легко- растворимых солей	Гранулометрический состав в мм, % фрак- ций	
	H <sub>2</sub> O	KCl			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>		<0,001	<0,01
<b>ПОЧВЫ ПОДТАЙГИ</b>											
Дерново-подзолистая											
AY 0-5	5,9	4,9	4,4	–	31	18	26,7	–	–	24	44
EL 5-15	6,3	4,9	1,0	–	20	9	8,4	–	–	24	41
BEL 15-54	6,5	4,8	0,5	–	19	10	5,6	–	–	16	53
BT 54-75	7,1	4,8	0,3	–	21	11	7,1	–	–	42	56
C 75-100	6,7	4,9	0,1	–	14	8	2,1	–	–	10	31
Дерново-карбонатная (бурозем темногумусовый остаточно-карбонатный)											
AUca 0-38	7,9	-	4,58	7	19	13	-	1,1	-	19	36
BMca 38-77	8,1	-	0,72	14	12	5	-	1,3	-	12	30
Cca 77-130	8,2	-	0,66	18	8	8	-	1,6	-	19	32
Дерновая лесная (бурозем оподзоленный)											
AYe 0-15	6,5	5,5	11,0	–	28	6	4,6	–	–	14	34
BM 15-94	6,4	5,4	0,89	–	18	12	3,0	–	–	25	49
C 94-120	6,4	5,4	0,55	–	24	13	1,9	–	–	28	55
<b>ПОЧВЫ ЛЕСОСТЕПИ</b>											
Светло-серая лесная (дерново-буро-подзолистая)											
AY 0-21	6,0	5,5	7,94	–	20	15	3,5	–	–	33	462
BEL 21-32	4,8	3,6	1,88	–	11	16	3,4	–	–	29	565
BT 32-75	5,3	3,7	0,57	–	10	9	1,9	–	–	31	436
C 75-100	5,6	3,8	0,53	–	15	9	1,6	–	–	34	389
Серая лесная (серая типичная)											
AY 0-20	6,5	5,8	3,73	–	8	7	3,0	–	–	10	21
AEL 20-30	6,5	5,8	0,74	–	7	4	1,2	–	–	12	20
BEL 30-50	6,2	5,4	0,20	–	5	4	1,0	–	–	11	14
BT 50-70	6,5	5,8	0,13	–	2	3	0,7	–	–	17	23
Cca 70-115	8,2	–	0,23	1,50	3	2	0,2	–	–	6	10
Серая лесная (серая метаморфическая)											
AY 0-16	6,4	5,6	6,46	–	34	4	3,4	–	–	9	25
AEL 16-30	6,0	4,6	1,19	–	17	8	1,1	–	–	13	27
BM 30-78	6,7	4,3	0,85	–	18	12	0,7	–	–	16	34
Cca 78-130	8,6	–	0,83	5,00	24	13	0,7	–	–	12	24
Чернозем выщелоченный (глинисто-иллювиальный)											
AU 0-40	6,2	–	4,64	0,02	22	11	–	–	–	20	45
BI 40-75	5,5	–	0,83	0,04	20	8	–	–	–	25	45
Cca75-120	7,9	–	0,62	1,00	24	11	–	–	–	21	42
<b>ПОЧВЫ НАСТОЯЩЕЙ И СУХОЙ СТЕПИ</b>											
Чернозем обыкновенный (дисперсно-карбонатный)											
AU 0-49	8,1	–	4,34	0,40	20	7	–	0,60	0,055	11	28
BCA49-122	9,0	–	1,24	24,0	9	12	–	1,60	0,185	23	34
Cca122-130	9,6	–	0,59	8,00	0	18	–	2,50	0,095	16	31
Каштановая типичная											
AJ 0-20	7,9	–	3,83	0,09	8	0	–	0,46	0,051	5	10
BMK 20-50	8,5	–	1,94	3,01	4	0	–	0,84	0,083	14	21
BM 50-84	8,6	–	1,57	3,87	5	0	–	5,83	0,170	16	23
CAT84-124	8,4	–	0,19	0,86	4	5	–	1,02	0,095	14	18
Cca124-150	8,6	–	0,20	0,43	1	2	–	0,60	0,068	12	17

Примечание. «–» – показатель неопределялся.

Общими особенностями каштановых почв являются: легкий гранулометрический состав при высоком содержании хряща и щебня, узкое отношение C/N, отсутствие гипса и легко-растворимых солей (см. табл. 2). Этим они в значительной степени отличаются от почв европейской части СССР и обнаруживают сходство с почвами степей Забайкалья, Тувы и Монголии [7]. Они формируются в условиях непромывного водного режима, при этом корнеобитаемый слой находится в крайне жестких термических условиях. Помимо современных условий причиной специфики региональных каштановых почв является неоднозначная история их эволюции, которая связана с их формированием на протяжении атлантического и суббореального периодов голоцена.

Итак, ведущим фактором, определяющим своеобразие природы региона, является климат, который отличается резкой континентальностью, что предопределяется положением региона в центре Азиатского материка, орографической изоляцией и большим влиянием

Сибирского антициклона. Основными дифференцирующими факторами климата выступают: количество и распределение зимних осадков по территории, различия в увлажненности, сумме отрицательных температур, продолжительность которых значительно превышает периоды с положительными температурами. В формировании климата важнейшим фактором выступает рельеф, так как именно он выступает основным перераспределителем тепла и влаги. Его специфика определяет своеобразие механизмов местных циркуляции воздуха, которые связаны с проявлением вертикальной поясности, котловинным эффектом и аридно-теневой зональности, что обуславливает особенности состава, структуры и развития здесь биоты, ландшафтов и почв.

Причиной, определяющей различие процессов почвообразования в регионе, является состав и степень выветрелости почвообразующих пород, поскольку их химический состав наследуются почвами. Почвы региона развиваются на рыхлых отложениях большей мощности, состав которых может существенно отличаться от подстилающих пород, но может быть схожим на разных породах, что, связано с привнесением делювиального и эолового материала, с глубокой трансформацией пород при гипергенезе и с конвергенцией при выветривании в сходных биоклиматических условиях.

Одним из главных факторов почвообразования выступает растительный покров, который в регионе подчинен высотной поясности и осложнен котловинным эффектом, экспозицией, литологией, микроклиматом, предгорной зональностью. С влиянием котловинного эффекта следует связывать распространение подтаежных сосновых и лиственнично-сосновых бруснично-травяных и разнотравных лесов в пределах Иркутско-Черемховской равнины, и южной части Предбайкальской впадины – крупных отрицательных морфоструктур. Нижнюю ступень вертикальной поясности представляют острова степей на широких речных террасах, смещенные к подножию пологого южного склона Лено-Ангарского плато. Наблюдается совместное проявление котловинного эффекта и предгорной (аридно-теневой) зональности. В целом, Южное Предбайкалье выступает в качестве экотонной территории со специфичными, очень характерными, переходными между лесом и степью ландшафтами: подтайгой, лесостепью и степью.

Существенным фактором генезиса и эволюции природной среды региона стали сильные пространственно-временные колебания палеогеографических условий, достигших своих максимальных амплитуд в позднем плейстоцене и голоцене. С палеогеографической точки зрения Южное Предбайкалье представляет ареал контактов тайги и степи. Вместе с тем эти геосистемы содержат унаследованные от прошлого элементы хвойно-широколиственных лесов и мерзлотных (перигляциальных) ландшафтов, продолжающие играть определенную структурную и функционально-динамическую роль. В целом, история развития ландшафтов региона сопровождается периодическим наступлением леса на степь или наоборот [8].

**Заключение.** На наш взгляд для почв региона характерна гетерохронность залегания горизонтов, формирование профиля которых происходило путем наложения одних горизонтов на другие с последующим их преобразованием или консервацией. В свою очередь образование горизонтов шло в различных биоклиматических условиях, характеризующиеся разной скоростью и интенсивностью процессов выветривания и почвообразования.

Наблюдается несоответствие строения и свойств почв с характером современной растительности, которое проявляется в невысокой кислотности, обогащении гумусом и обменными основаниями верхних горизонтов почв с элювиально-иллювиальным профилем, развитых под таежной растительностью. Это, по-видимому, связано с отставанием изменения почвенных процессов вслед за сменой климата и растительности, поскольку почвы медленнее реагируют на изменения среды, чем другие компоненты экосистем. Наибольшей скоростью изменения обладают такие свойства почв как режимы температуры и влажности, газовый состав, биотические параметры, подстилки, криотурбации, содержание солей, общего накопления органического материала и др. Перечисленные свойства могут изменяться в течение от нескольких лет до десятилетий. Гораздо большее время (сотни и даже тысячи лет) требуются для изменения таких показателей как гумусовый профиль, качественный состав гумуса, содержание и распределение карбонатов, железистых соединений, илестых частиц и др. Еще большее время требуется для перераспределения слабовыветрелых минералов, почво-кор и др. [9].

В целом, поливариантность факторов почвообразования Южного Предбайкалья, сложная история их эволюции предопределили разнообразие почвенного покрова региона, самобытность свойств почв, усиливающиеся при антропогенном воздействии, в значительной степени вызывает трудности в их диагностике, классификации, рациональном использовании.

### Литература

1. Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. Москва; Иркутск, 2004. 90 с.
2. Классификация и диагностика почв России / ввт. и сост. Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 324 с.
3. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
4. Агрохимические методы исследования почв: Руководство / под ред. А.В. Соколова. М.: Наука, 1975. 656 с.
5. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
6. Воробьева Г.А. Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. 205 с.
7. Кузьмин В.А. Опыт почвенно-географических исследований на территории Байкальской Сибири // География и природные ресурсы. 2007. № 3. С. 197–205.
8. Бессолицына, Е.П., Какарека С.В., Крауклис А.А., Кремер Л.К. Геосистемы контакта тайги и степи: юг Центральной Сибири. Новосибирск: Наука, 1991. 217 с.
9. Александровский А.Л., Александровская Е.И. Эволюция почв и географическая среда. М.: Наука, 2005. 223 с.

### SPECIFICITY OF GENESIS AND EVOLUTION OF SOILS OF SOUTH PRE-BIKALIA

A.A. Kozlova

Irkutsk State University, Irkutsk, allak2008@mail.ru

**Annotation.** *The article describes the factors of soil formation in the South Baikal region, the originality of which is due to the complex history of the development of its natural environment, which contributed to the formation of a complex and diverse soil cover and the identity of soil properties. These circumstances cause considerable difficulties in their diagnosis and classification, and also contribute to low resistance to anthropogenic influences.*

**Keywords:** *natural environment, originality of soil properties, soil cover diversity, soil classification and classification, morphoanalytical characteristics of soils.*

## МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВАХ ПСЕВДОТАЕЖНЫХ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ХАНГАЯ В МОНГОЛИИ

Ю.Н. Краснощеков

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – Обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,  
Красноярск, kyn47@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены особенности микроэлементного состава почв псевдотаежных лиственничников Центрального Хангая в Монголии. Приведены данные по содержанию микроэлементов, их концентрации и радиальному распределению по профилю изученных почв.

**Ключевые слова:** физико-химические свойства почв, микроэлементы, радиальная дифференциация микроэлементов, кларки концентрации и рассеяния микроэлементов.

Псевдотаежные лиственничные леса занимают господствующее положение в лесном покрове Центрального Хангая, формируются в экстремальных континентальных холодных и сухих условиях высокогорий и распространены в пределах от 1700–1800 до 2300 м абс. высоты, на склонах теневых экспозиций. Типологическое разнообразие их невелико, в связи с ограниченностью территорий, пригодных для произрастания леса. Крупные массивы леса приурочены к глубинным, центральным участкам горных хребтов – Булнай и Тарбагатай. Подробная лесотипологическая характеристика псевдотаежных лиственничников опубликована [1].

Особенность условий почвообразования в Центральном Хангае способствуют формированию специфических почвенных образований, которые по морфологическому строению и набору почвенных горизонтов значительно отличаются как от криоземов, так и серогумусовых почв, формирующихся в бореальном поясе.

Почвы псевдотаежных лиственничных лесов Центрального Хангая, согласно классификации почв России [2], нами отнесены к отделу органо-аккумулятивных почв, к типу перегнойно-серогумусовых мерзлотных [3]. По особенностям органогенного и гумусово-аккумулятивного горизонта, элювиально-иллювиальным признакам, а также по остаточной карбонатности выделены подтипы: типичные, элювиированные и остаточно-карбонатные. В почвенном профиле гумусово-аккумулятивный горизонт представлен перегнойно-серогумусовым (A<sub>Yh</sub>), что является важным диагностическим признаком отличающий их от криоземов и серогумусовых почв бореальных лесов, как по трофности, так и гидротермическим условиям почвообразования. Важными признаками изученных почв является также наличие в профиле сухомерзлотного горизонта и отсутствие явных процессов криотурбации и тиксотропности в минеральных.

Источником поступления микроэлементов в почвы, как известно, служат горные породы на продуктах выветривания, которых формируется почвенный покров. Их вещественный состав в горных условиях зависит от соотношения местного и принесенного материала. В одном случае это маломощные рыхлые остаточные и переотложенные коры выветривания, сформированные на плотных кристаллических породах, преимущественно кислых магматических (граниты) или карбонатных (известняки, доломиты), в другом – плотные кристаллические породы перекрыты мощным песчано-щебенистым плащом не связанного генетически с подстилающими горными породами. Это обстоятельство отмечено также в работах Б.Б. Польшова [4], В.М. Фридланда [5]. Верхний горизонт перечисленных кор выветривания является тем субстратом, на котором развиваются современные почвы.

Следует отметить, что в Центральном Хангае не редко обломки горных пород покрыты корочками углекислого кальция. Такие окарибончатенные горные породы Б.Б. Польшов [4] называл «обыизвесткованным» ортоэлювием. Для образования таких форм карбонатов кальция, как считал Б.Б. Польшов, является кальций, освобождающейся при выветривании горной породы, и углекислого воздуха, циркулирующего в среде продуктов выветривания. Кроме это-

го, происхождение некоторой части карбонатов кальция объясняется минерализацией органического вещества. Наличие карбонатных корочек на обломках плотных кристаллических пород разного минералогического и петрографического состава определяет слабокислую или нейтральную реакцию почвенного раствора, значительную насыщенность основаниями, что влияет на миграционную способность микроэлементов в почвенном профиле.

Перегноино-серогумусовые мерзлотные типичные почвы образуют основной фон почвенного покрова псевдотаежных лиственничных лесов (разнотравно-ритидиевых, бруснично-ритидиевых, ритидиевых и туидиевых типов леса). Формула морфологического строения профиля почв: O-A<sub>Yh</sub>-C<sub>f</sub>-C.

Гранулометрический состав почв легко- и среднесуглинистый. Содержание фракции физической глины в верхних минеральных горизонтах равно 25–35%, около половины здесь составляют илестые частицы. Количество пылеватых фракций изменяется от 12 до 28%, постепенно снижаясь вниз по профилю до 6–16%. Фракция песка представлена мелкопесчаными частицами, содержание которых по профилю почв изменяется от 38 до 75%.

Почвы имеют слабокислую реакцию почвенного раствора органогенных горизонтов. В нижней части профиля величина pH изменяется до щелочной. Распределение гумуса по профилю носит аккумулятивный характер с максимумом его в гумусово-аккумулятивном горизонте. В составе поглощенных катионов преобладают кальций и магний. Высокая насыщенность поглощенного комплекса основаниями – результат биологической аккумуляции зольных элементов растительности и «обызвесткованность» горных пород.

Валовой химический состав почв показывает некоторое биогенное накопление CaO в верхней части профиля. Наблюдается слабый вынос Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> из верхних горизонтов и обогащение их SiO<sub>2</sub>, что свидетельствует о возможности проявления процесса оподзоливания.

В подтипе перегноино-серогумусовых типичных почв высокими коэффициентами вариации (K<sub>v</sub>=40,0–54,5%) в органогенных горизонтах отличаются B, V, Cr, Zr и Sr, в гумусово-аккумулятивных (K<sub>v</sub>=45,4–54,1%) – Ni, Zr и Sr, в минеральных (K<sub>v</sub>=40,0–64,3%) – Cr.

Судя по изменению коэффициента радиальной дифференциации (Крд) относительно почвообразующей породы в органогенных горизонтах резко возрастает концентрация Sr (Крд=14,70), B (Крд=12,22), Mn (Крд=10,36) и Ba (Крд=6,50) т.е., элементов биофилов. Усиление аккумуляции этих элементов может быть связано и с дополнительным их поступлением в подстилку за счет эолового приноса с территорий опустыненных степей и пустынь, а также с деятельностью почвенной фауны. Для большинства элементов характерна относительно меньшая концентрация элементов (Крд= 1,22–2,42), в то же время коэффициенты радиальной дифференциации Zr, V и Cr ниже единицы, что свидетельствует о их слабом накоплении в поверхностных органогенных горизонтах рассматриваемых почв.

В горизонтах A<sub>Yh</sub> наблюдается также аккумуляция микроэлементов, но значительно слабее, чем в поверхностных органогенных. Слабым накоплением здесь отличаются Zn, V и Co.

Горизонт C<sub>f</sub> в рассматриваемых почвах характеризуется заметным накоплением Mn, Sr, Ni, Pb, Ba, Zr и B, коэффициенты местной радиальной дифференциации по отношению к почвообразующей породе изменяются от 1,26 до 1,70. Относительно слабой аккумуляцией (Крд=1,03–1,17) отличаются Co, Cr, Mo, V, Zn. Наблюдается в незначительном количестве накопление Cu (Крд=0,95).

Таким образом, для рыхлой почвообразующей породы горизонта C<sub>f</sub>, несущей признаки аккумуляции гумусово-железистых соединений, характерно накопление элементов как биофилов, так и группы железа, однако для большинства микроэлементов, относящихся к группе железа характерна все же незначительная аккумуляция.

Приведенные кларки концентрации (КК) относительно литосферных кларков [6] для перегноино-серогумусовых типичных почв свидетельствуют, что в поверхностных органогенных горизонтах очень сильно возрастает концентрация B (КК=22,91). Заметно концентрируется Sr и Mn (КК=3,67–3,75), меньше Ba, Mo, Pb, Zn и Cu (КК=1,49–2,65). Остальные элементы имеют кларк концентрации ниже единицы, что говорит о их рассеянии.



В горизонте АУh повышенной концентрацией (КК=1,45–4,21) отличаются Mo, Zr, В и Cr, слабой (КК=1,07–1,17) – Sr, Mn и Pb. Выявлено слабое рассеяние Cu, Zn, V, Co и Ni.

В горизонте Cf наблюдается более высокое содержание по сравнению с другими элементами В, Cr, Pb и Zn, их кларки концентрации относительно литосферных кларков достигают 1,26–2,36. Выявлено слабое рассеяние Cu, Zr и Mn (КК=0,62–0,88), более интенсивное рассеяние Co, Ba, Sr и Ni (КК<0,6).

В верхней части псевдотаежного пояса, в приводораздельных на пологих и слабо покатых склонах, под листовничниками бруснично-ритидиевыми, овсяницево-ритидиевыми, разнотравно-туидиевыми типами леса распространены почвы, в профиле которых под гумусово-аккумулятивным имеется подповерхностный осветленный (el) горизонт, мощностью 5–10 см, серовато-бурого, темно-серого, либо серого цвета. Этот горизонт не является в данном типе диагностическим, рассматривается как генетический признак, что служит основой для выделения в типе перегнойно-серогумусовых мерзлотных *элювиального подтипа*. Почвенный профиль имеет следующее строение: О-АУh-el-Cf-С.

По гранулометрическому составу рассматриваемые почвы супесчаные и легкосуглинистые с высоким содержанием включений щебня. Профиль почв слабо дифференцирован либо недифференцирован по распределению илистой фракции и физической глины.

Почвы характеризуются кислой реакцией среды верхних горизонтов, что подчеркивает влияние растительности на кислотность почв. Распределение гумуса по профилю носит аккумулятивный характер с максимумом его в перегнойно-серогумусовом горизонте. Органогенные и гумусовые горизонты почв обладают большой суммой обменных катионов. Среди обменных катионов в почвенном поглощающем комплексе преобладают кальций и магний.

Валовой химический анализ свидетельствует о слабой подвижке полуторных оксидов по почвенному профилю. Накопление кремнезема в элювиальном горизонте выражено также слабо.

Высокими коэффициентами вариации в органогенных горизонтах рассматриваемого подтипа почв отличаются Cr, Ni и Zr (Кv=35,2–40,0), в гумусово-аккумулятивных – V, Pb и Ni (Кv=52,9–71,6).

Установлено, что для большинства микроэлементов характерна как биогенная аккумуляция в поверхностных органогенных и грубогумусовых горизонтах, так и элювиально-иллювиальная их дифференциация в почвенном профиле. В поверхностных органогенных горизонтах рассматриваемых почв высокой концентрацией отличаются В (КК=22,91), Mn (КК=5,00), Sr (КК=2,79), Ba (КК=2,69) и Pb (КК=2,03). Незначительно накапливаются Zn, Cu, Mo (КК=1,48–1,93). Слабым рассеянием – Zr, V и Co, более интенсивным – Cr и Ni.

Поскольку иллювиальный горизонт в рассматриваемых почвах самостоятельно не выделяется, аккумуляция элементов в горизонте Cf связана с не перераспределением илистой фракцией, а результатом осаждения различных аморфных соединений группы железа и метал-органических комплексных соединений – хелатов. По сравнению с горизонтом el в горизонте Cf, выше концентрация Pb, Cu, V, Cr, Co.

*Перегнойно-серогумусовые мерзлотные остаточно-карбонатные почвы* приурочены к местам выхода на дневную поверхность карбонатных пород. Следует отметить, что на склонах горных хребтов, где представлены переотложенные коры выветривания карбонатных пород, нередко в их составе встречаются включения обломков преимущественно гранитов и кристаллических сланцев. Развиваются почвы под листовничниками разнотравно-ритидиевыми, разнотравно-туидиевыми, осочково-ритидиевыми. Морфологическое строение профиля почв: О-АУh-Cf,ca-Сса.

Гранулометрический состав почв легко-тяжелосуглинистый. В составе физической глины около половины приходится на илистую фракцию.

Почвы характеризуются высоким содержанием гумуса, слабокислой реакцией среды органогенных горизонтов, щелочной – нижних минеральных. Почвенный поглощающий комплекс насыщен кальцием и магнием.

Валовой химический состав свидетельствует о слабой миграции оксидов по профилю. Относительно высокое содержание кремнезема и алюминия в верхних горизонтах связано с вы-

соким их содержанием в золе подстилки и опада. В рассматриваемом подтипе в органогенных горизонтах почв высокими коэффициентами вариации (более 40%) отличаются Ва, Сг, В, Рb и Sr. В гумусово-аккумулятивных – Рb, Ni, Ва, Mn, Sr и Zr, в карбонатной почвообразующей породе – Cu, Со и Cr.

Для почвенных профилей перегнойно-серогумусовых остаточно-карбонатных почв характерно аккумулятивное распределение большинства элементов. Так, в органогенных горизонтах резко возрастает содержание В (Крд=11,50), Mn (Крд=11,30), Sr ((Крд=5,11) и Ва (Крд=3,20). Остальные элементы содержатся значительно меньше, коэффициенты радиальной дифференциации которых изменяются от 1,31 до 1,72. Слабо накапливаются V и Cr.

В отличие от органогенных, гумусово-аккумулятивные горизонты характеризуются относительно меньшим содержанием микроэлементов. Здесь отмечено лишь повышенное содержание Mn (Крд=3,83), Sr (Крд=2,22) и Zr (Крд=2,10). Большинство элементов группы железа (Рb, Cu, V, Ni, Cr) слабо накапливаются в этом горизонте, коэффициенты радиальной дифференциации которых изменяются от 0,73 до 0,94.

Приведенные кларки концентрации относительно литосферных кларков для органогенных горизонтов рассматриваемого подтипа почв показывают, что очень высокой концентрацией отличаются В (КК=23,96) и Mn (КК=3,25). Заметно концентрируется Sr (КК=1,69), Мо (КК=1,72) и В (КК=1,85). Концентрация Рb, Cu и Zn незначительная. Выявлено слабое рассеяние Zr и V, более интенсивное Со, Cr и Ni.

Отмечено относительное увеличение концентрации ряда элементов (Рb, Zn, Со, V, Mn, Sr) в минеральном горизонте Cf<sub>ca</sub>. Слабощелочная и щелочная реакция, наличие в нижней части профиля геохимического барьера в виде карбонатов создают условия для их закрепления, освобождающихся в процессе почвообразования и выветривания горных пород. Однако следует отметить, что в данном случае, геохимический карбонатный барьер в рассматриваемых почвах выражен слабо. Это можно объяснить наличием склонов большой крутизны, что определяет вынос большинства элементов в растворенном состоянии преимущественно внутрпочвенным боковым и поверхностным стоком.

Таким образом, приведенные материалы по микроэлементному составу перегнойно-серогумусовых мерзлотных почв псевдотаежных лиственничных лесов Центрального Хангая свидетельствует о их различии не только абсолютными значениями микроэлементов, участвующих в биологическом круговороте, но также интенсивностью их вовлечения в биогенную миграцию. Интенсивная биогенная миграция элементов обуславливает их аккумуляцию в органогенных и гумусово-аккумулятивных горизонтах, где возрастает содержание многих элементов, особенно элементов-биофилов.

Поверхностные органогенные горизонты перегнойно-серогумусовых типичных и элювиированных подтипов интенсивно накапливают ( $n \cdot 10$ ) В, Ва, Mn и Sr. Наблюдается слабое и среднее рассеяние V, Cr и Zr.

В органогенных горизонтах остаточно-карбонатных подтипов накапливается Mn и В. Меньше, чем в почвообразующей породе, содержится V и Cr.

Повышенное содержание микроэлементов и слабый их вынос из органогенных горизонтов рассматриваемых почв связаны с неблагоприятными гидротермическими условиями: малым количеством осадков, непродолжительным (коротким) вегетационным периодом, невысокими температурами воздуха летом и низкими – зимой. Гидротермические условия способствуют большому накоплению подстилки под пологом леса и слабой ее минерализации.

## Литература

1. Коротков И.А. Типы леса Монгольской Народной Республики // Леса Монгольской Народной Республики. М.: Наука, 1978. С. 47–121.
2. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Краснощекоев Ю.Н. Почвы и почвенный покров высокогорных и лесных ландшафтов Центрального Хангая в Монголии // Почвоведение. 2010. № 2. С. 131–142.
4. Польшов Б.Б. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 751 с.

5. Фридланд В.М. Влияние степени выветрелости почвообразующих пород на процессы формирования почв в различных биоклиматических зонах // Почвоведение. 1970. № 12. С. 5–15.

6. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.

## **MICROELEMENTS IN THE SOILS OF THE CENTRAL KHANGAY PSEUDO-TAIGA LARCH FORESTS IN MONGOLIA**

Yu.N. Krasnoshchekov

V.N. Sukachev Institute of Forestry SB RAS is a Separate unit FITS KSC SB RAS, Krasnoyarsk, kyn47@mail.ru

**Summary.** *The features of the microelements' composition in the soils of pseudo-taiga larch forests of the Central Khangay in Mongolia are considered. The data on the microelements' content, their concentration and radial distribution along the soil profiles studied are given.*

**Keywords:** *physical and chemical properties of soils, microelements, radial differentiation of microelements, clark concentration and micronutrient scattering.*

## СТАБИЛИЗАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА БАЛАГАНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Н.А. Мартынова, В.Ю. Власова

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия, natamart-irk@yandex.ru

**Аннотация.** На остепненных пространствах изучаемого региона формируются черноземы глинисто-иллювиальные и текстурно-карбонатные. Под лесной растительностью развиваются остаточно-карбонатные серые, темно-серые, серые и темно-серые метаморфические почвы, буроземы. На пойменных пространствах формируются глееземы и темно-гумусовые почвы. Почвы развиваются на элюво-делювии кембрийских красноцветных алевролитов и лессовых породах и обладают достаточно высоким природным плодородием и экологической устойчивостью. Они характеризуются сложным полигенетическим строением профиля, что отражает смену условий почвообразования в голоцене-плейстоцене.

**Ключевые слова:** почвенный покров, Балаганская лесостепь, экологическая устойчивость, полигенез почв, плодородие, изменение климата.

**Актуальность.** Балаганский район благодаря своему территориальному положению и богатым землям – издавна обживался людьми. В стародавние времена Балаганск называли не иначе как Балаганский острог, основанный боярским сыном Дмитрием Фирсовым в 1654 г., в середине XVIII в. превратился в центр управления огромной территории. С 1856 г. по 1924 г. – Балаганск числился как окружной, затем – уездный город Иркутской губернии. В первой половине XVIII в. российское правительство внедряет на этой территории русское трехпольное земледелие среди предбайкальских бурят, что позволило местным бурятам раньше остальных групп бурят приобщиться к русскому земледелию и сдавать в казну большую часть товарного хлеба по минимальной цене в счет уплаты государственных податей и повинностей.

В 1962 г., во время затопления водохранилища Братской ГЭС, когда значительная часть территории района оказалась под водой, Балаганский район был ликвидирован, а его земли переданы в Усть-Удинский, Заларинский районы. Исторический Балаганск был также затоплен, а новый поселок был построен в 130 км вниз по реке Ангаре. Снова Балаганский район был воссоздан в 1989 г., а в 2000 г. был принят Устав муниципального образования «Балаганский район». Благодаря плодородным землям Балаганский район относится к сельскохозяйственным районам Иркутской области, несмотря на то, что земли сельскохозяйственного назначения составляют здесь лишь 17%. Агропромышленный потенциал Балаганского района представлен в основном сельскохозяйственным производством экстенсивного типа.

Первые исследования в лесостепной части Балаганского округа, проведенные в конце XIX в. Н.Н. Агапитовым [1] и Я.П. Прейном [2] выявили такие почвы как: 1) «красные глины» (современные буроземы остаточно-карбонатные (2004 г.) или дерново-карбонатные почвы (1977 г.); 2) «гороховатые» или «крупитчатые» земли (черноземовидные или темно-серые глееватые (2004 г.) или лугово-черноземные почвы (1977 г.); 3) «пыхуны» («буковина», «опухоль») и собственно «черно-земь» («черные крепкие земли») (темносерые и черноземы глинисто-иллювиальные (2004 г.) или темно-серые лесные и черноземы выщелоченные (1977 г.); 4) «бузун, трунда» (темно-гумусово-глеевые (2004 г.) или луговые (1977 г.); 5) глины мясниковые» (эродированные дерново-элювоземы (глееватые) (2004 г.); 6) солонцы (солонцы темные, солончаки глеевые (2004 г.)).

Почвы Лено-Ангарской лесостепи с различных сторон изучались разными авторами: И.В. Николаевым [3], О.В. Макеевым [4], Б.В. Надеждиным [5], Г.А. Воробьевой [6], Н.И. Карнауховым [7, 8]. Для увеличения посевных площадей и интенсивности их использования, более рационального использования богатых природных ресурсов района, необходимо более глубокое изучение почв района. Но до конца еще не исследованы особенности ге-

незиса и свойств балаганских почв, влияния на них почвообразующих и подстилающих пород, климата и рельефа, чем и обусловлена актуальность проведенного исследования.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования послужили почвы Лено-Ангарской лесостепи окрестностей пгт. Балаганск и пос. Игжей, представленные лесными сосновыми, лиственнично-сосновыми и березовыми биоценозами, степными злаковыми, разнотравно-злаковыми и бобово-злаковыми сообществами, а также – луговыми разнотравными ассоциациями речных долин и межплоскогорных понижений.

Для полевого исследования почв исследуемых ландшафтов применялись почвенно-морфологический, педо-литологический, ботанический, геолого-геоморфологический и сравнительно-географический методы исследования. На территории было заложено и описано свыше 20 почвенных разрезов. Лабораторные исследования свойств основных типов почв были проведены общепринятыми методами потенциометрии, титрования, фотоколориметрии [9] в пробах воздушно-сухих образцов почв, растёртых и просеянных через сито с диаметром отверстий в 1 мм, а при необходимости – через сито с диаметром отверстий 0,25 мм.

**Обсуждение результатов.** Территория исследования характеризуется чередованием антиклинальных гряд с синклинальными впадинами Лено-Ангарского плато с колебанием относительных высот в пределах от 200 до 300 м и глубокой изрезанностью рельефа древними речными долинами, обуславливающими широкое распространение овражно-балочной сети и различных форм мезо- и микрорельефа. Преимущественное распространение на территории исследования получили красноцветные карбонатно-силикатные отложения верхнего кембрия, минеральный состав которых составляет каолинит – гидрослюдистая ассоциация. Денудационное выравнивание рельефа, начавшегося с мел-палеогенового времени, привело к накоплению красно-бурых суглинисто-глинистых отложений, подверженных интенсивным процессам эрозии. Эллювиально-делювиальные отложения, по мощности сравнительно небольшие, на склонах и террасах переходят в толщу легкоразмываемых лессовидных суглинков. Частично кембрийские алевролиты на нижних частях склонов перекрыты лессовидными покровными карбонатными четвертичными отложениями, мощность которых порой достигает 4-5 м.

В условиях расчлененного рельефа Балаганской лесостепи с большой амплитудой высот важное значение в распределении почвенно-растительного покрова имеет радиационный баланс территории, достигающий 20–34 ккал/см<sup>2</sup>, экспозиция и крутизна склонов. Испаряемость (600–800 мм в год), превышая годовое количество осадков (250–500 мм/год), небольшой безморозный период (78–89 дней) обуславливают засушливость климата с жарким летом и холодной зимой.

На столовых возвышенностях, сложенных трудно-размываемыми песчаниками и аргиллитами кембрия, формируются залесенные территории. Склоны водоразделов и террас покрывают смешанные осиново-березово-лиственничные леса, встречаются сосново-лиственничные леса. Пологие склоны почти полностью распаханы, но сохранились остепненные участки с естественной растительностью.

На остепненных пространствах формируются черноземы глинисто-иллювиальные дисперсно-карбонатные метаморфизованные (AU<sub>o</sub>-AU-Bldc(sn)-BCAm-BCca,m-Cca) (рис. 1, а), формирующиеся на остепненных древних террасах и пологих склонах южной экспозиции, покрытых облессованными и лессовидными суглинками (средне- и тяжелосуглинистыми). На элюво-делювии кембрийских алевролитов под полынно-злаковой степной растительностью формируются черноземы текстурно-(дисперсно)-карбонатные (остаточно-солонцеватые) (рис. 1, б). Под пологом разнотравно-злаковых березовых разреженных лесов встречаются также серые и темно-серые почвы (рис. 1, в), под травянистыми сосновыми лесами – дерново-подзолистые остаточно-карбонатные почвы (O-AU-EL-BEL-BTF-BT-BC-Cca) (рис. 1, е).

Сложные профили серых метаморфических (O-AU<sub>ao</sub>-AU<sub>el</sub>-BMt-[AJ-BMKtr,mc-BCmc]) (рис. 1, г) и темно-серых метаморфических остаточных карбонатных почв (AO<sub>(f+h)</sub>-AU<sub>ao</sub>-AU-A<sub>el</sub>-BMt,ca-[CAT-BCA-BCca-Cca]) формируются под сосново-березовыми травянистыми лесами. Преобладающими типами в почвенном покрове региона являются буроземы элюви-

рованные остаточно-карбонатные ((O<sub>1</sub>-AO<sub>пн</sub>-AYel-BMi-[AJca-BMK-CAT-Cca-Dca]) (рис. 1, д), формирующиеся под травянисто-сосновыми лесами приводораздельных пространств увалов и на склонах. В зависимости от положения в рельефе и условий дренирования, глубины залегания карбонатов – выделяются типичные, элювируемые и оподзоленные разновидности почв. Глееземы и темногумусовые глеевые почвы развиваются на поймах и в пойменных понижениях.

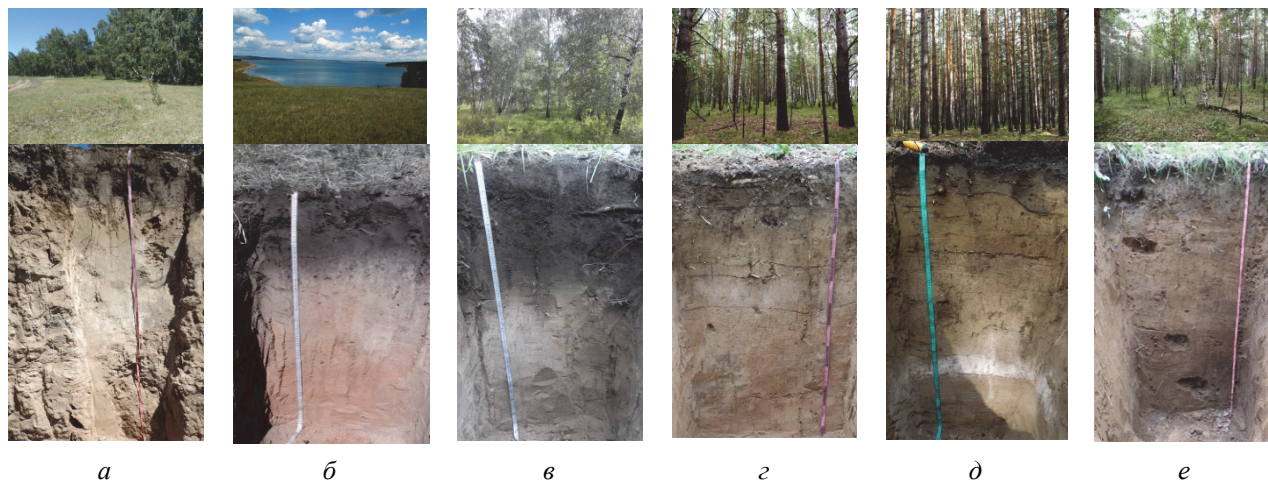


Рис 1. Почвы окрестностей пос. Балаганск: а – чернозем глинисто-иллювиальный; б – чернозем текстурно- (дисперсно)-карбонатный; в – темно-серая остаточно-карбонатная; г – серая метаморфическая остаточно- (мицеллярно)-карбонатная на погребенной ксеро-палево-метаморфической почве; д – бурозем элювируемый остаточно-карбонатный (осолоделый); е – дерново-подзолистая остаточно-карбонатная

Черноземы характеризуются щелочной реакцией среды, возрастающей вниз по профилю, постепенным падением с глубиной содержания гумуса, достаточно высоким содержанием обменных катионов. Высокое содержание карбонатов в лессовых породах, на которых формируются типичные и глинисто-иллювиальные черноземы, а также их средне- и тяжело-суглинистый состав нейтрализуют процесс оподзоливания и выщелачивания, способствуют медленной минерализации растительных остатков, образованию и накоплению гумусовых веществ, созданию устойчивой агрономически ценной структуры, повышая их плодородие и агрономическую ценность.

Кислотность среды увеличивается, а количество обменных катионов и карбонатов снижается с рядом: черноземы-серые метаморфические-серые почвы-буроземы-дерново-подзолистые почвы. Многие почвы характеризуются сложным строением и формируются на погребенных (частично эродированных) почвах криоаридного климата плейстоцено-голоценового возраста, резко отличающимися от современной почвы по pH, количеству и формам карбонатных новообразований, обменных катионов, по резкому сокращению подвижных соединений Fe (рис. 2).

На генезис почв сильно влияет длительная сезонная мерзлота, что выражается в укороченной гумусовой толще с ее значительным пространственным варьированием, наличии криогенной структуры на глубине 120–180 см. Мало снежный покров (<40 см за зиму), способствует сезонному промерзанию почв, особенно на заболоченных высокоувлажненных участках (до 2,5–4,0 м) и на слабоувлажненных легких и щебнистых отложениях.

Сложное полигенетическое строение профиля отражает смену условий почвообразования в голоцене-плейстоцене. Современные элементарные процессы почвообразования обуславливают наложение и интеграцию современных признаков на профили более древних почв. Лесные почвы окрестностей пос. Балаганск сформированы на погребенных палево-метаморфических (часто осолоделых) почвах, местами с уничтоженной гумусовой толщей. Эти погребенные толщи мы рассматриваем как реликт почвообразования плейстоценового возраста. Сильнейшая аридизация климата в конце раннего и начале среднего плейстоцена спо-

способствовала замещению широколиственных лесов тургайской флоры мелколиственными породами и широкому распространению в регионе степной и полупустынной растительности, накоплению пылеватых отложений. Плейстоценовый период в истории Сибири был ознаменован окончательным оформлением горных систем юга Восточной Сибири, что сопровождалось высокой тектонической активностью и крупными орографическими и климатическими изменениями глобального характера, обусловившими развитие в ряде районов Сибири горно-долинных оледенений [10].

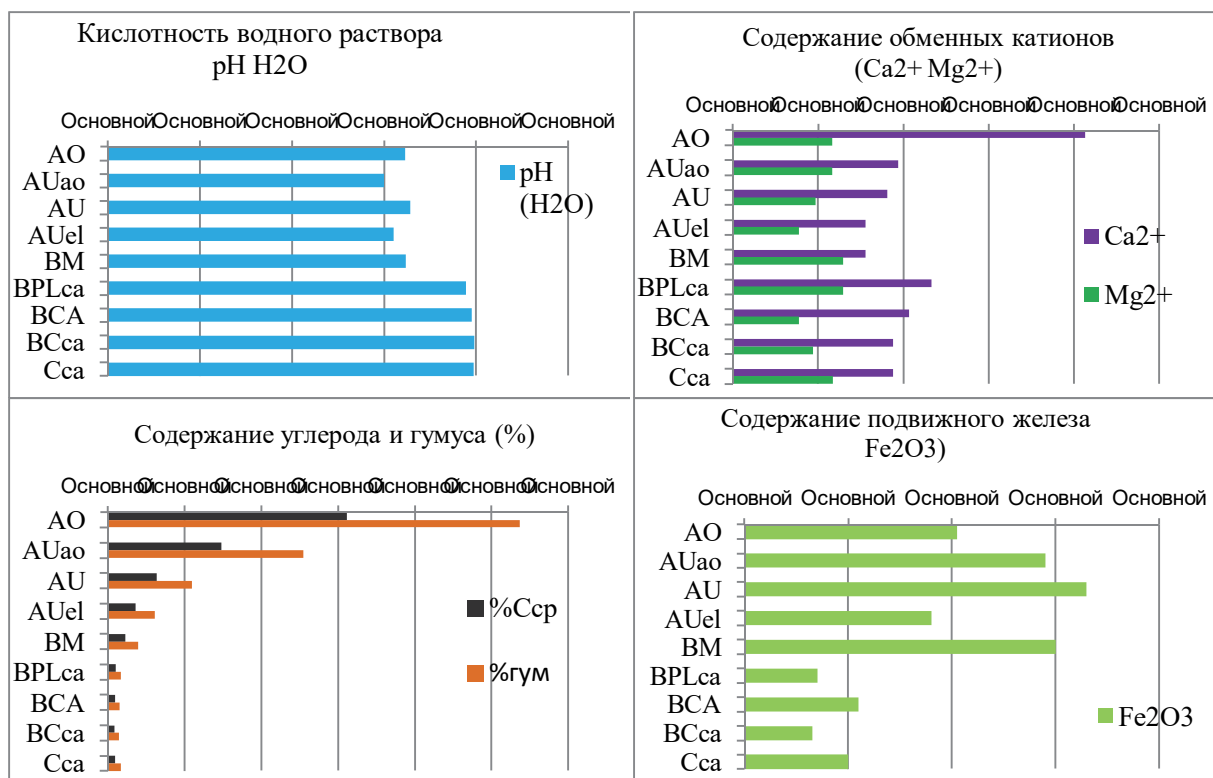


Рис. 2. Физико-химические свойства темно-серой метаморфической почвы (Бал-14/5)

В результате постледниковых потеплений на обширной территории Сибири вышедшие на поверхность кембрийские и другие отложения были перекрыты лессовыми и лессовидными отложениями, возможно, флювиально-эолового генезиса, на которых в холодный и сухой сарганский период лесная растительность сменилась на тундрово-степную и сформировались палеокриометаморфические (палевые и криоаридные) почвы. В среднем голоцене (~7000 л.н.) сформировался ксеротермический климат малого постледникового периода, обусловивший деградацию мерзлоты в регионе и ксерофитизацию растительного покрова. Аридизация климата способствовала криогенной аккумуляции углекислого кальция и, частично, натрия (сода) в почвах региона. Рыхлые карбонатные лессовидные суглинки, перекрывшие плащом плейстоценовые почвы, способствовали формированию плодородных черноземов (текстурно-карбонатных). При последующем наступлении более холодного атлантического климатического периода произошло смещение границ почвенно-растительных зон к северу, что привело к «обратному» эволюционированию черноземов текстурно-карбонатных – в черноземы глинисто-иллювиальные и темно-серые метаморфические почвы, темно-серых – в серые; серых почв – в дерново-подзолистые и буроземы. Граница голоцена и плейстоцена в исследуемых почвах часто находится в В-горизонте – на глубине 40–60 см, который сформировался на границе периодов – Атлантического и Суббореала.

**Заключение.** Почвы района характеризуются достаточно высоким природным плодородием и экологической устойчивостью, обусловленными формированием темно-гумусового горизонта с преобладанием гуматного состава, высокой глинистостью, хорошей оструктуренностью и насыщенностью обменными катионами, присутствием большого количества

карбонатов, затормаживающих элювиирование и оподзаливание почв. Свойства и строение почв обусловлены климатическими флуктуациями плейстоцена и голоцена и «миграцией» лесостепи на юг или на север со сменой ландшафтов и ценозов от тундрово-сухостепных до лугово-степных и лесотаежных со сложным наложенным генезисом почв, обуславливающих большое почвенное разнообразие района.

### Литература

1. Агапитов Н.Н. К вопросу о происхождении чернозема // Издательство Восточно-Сибирского отдела Русского географического общества. 1881. Т. IX, № 3–4. С. 16–17.
2. Прейн Я.П. Очерк почв Балаганского округа // Материалы по исследованию землепользования и хозяйственного быта Иркутской и Енисейской губернии. 1890. Т. II, вып. 5. С. 64–83.
3. Николаев И.В. Почвы Иркутской области. Иркутск, 1949. 404 с.
4. Макеев О.В. Почвоведы и агрохимики Сибири и Дальнего Востока: биографо-библиогр. справочник / отв. ред. В.А. Хмелев. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 337 с.
5. Надеждин Б. В. Лено-Ангарская лесостепь. М.: АН СССР, 1961. 327 с.
6. Воробьева Г.А. Почва как летопись природных событий: проблемы генезиса и классификации почв Прибайкалья. Иркутск, С. 148–210 с.
7. Карнаухов Н.И. Засоленные почвы и их мелиорация. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1978. 87 с.
8. Карнаухов Н.И. Мелиорация почв. Иркутск: Изд-во ИГУ. 1977. 188 с.
9. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 324 с.
10. Логачев Н.А., Ломоносова Т.К., Климанова В.М. Кайнозойские отложения Иркутского амфи-театра. М.: Наука, 1964. 196 с.

### THE STABILIZATION MECHANISMS OF ECOLOGICAL FUNCTIONING OF SOIL COVER OF BALAGANSK FOREST-STEPPE AREA

N.A. Martynova, V.U. Vlasoova

State educational institution of the higher education «Irkutsk State University», Irkutsk, Russia, natamart-irk@yandex.ru

**Summary.** *At steppe areas of the studied region there are formed chernozems of clay-illuvial and textural-carbonate. Gray, dark gray, gray and dark gray metamorphic residual-carbonate soils and residual-carbonate burozems have been developed under the forest vegetation. Gleezems and dark-humus gleic soils are formed at the flood areas. Studied soils were developed on elluviun-deluvium of Cambrian red alevrolites and loess rocks and have a fairly high natural fertility and environmental sustainability. They are characterized by a complex polygenetic structure of the profile, which reflects the change of soil formation conditions in the Holocene-Pleistocene.*

**Keywords:** *soil cover Balagansk forest-steppe, environmental sustainability, polygenesis of soils, fertility, climate change.*



## ПРОВИНЦИАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКА ГЕНЕЗИСА И ЭВОЛЮЦИИ ПОЧВ ТУНКИНСКОЙ ДОЛИНЫ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Н.А. Мартынова, М.В. Труханова

Иркутский государственный университет, Иркутск, natamart-irk@yandex.ru

**Аннотация.** Территория юго-западной ветви Байкальской рифтовой зоны обладает уникальными природными особенностями: что определяет развитие здесь разнообразных ландшафтов с специфическими почвами и биоценозами, подлежащими их сохранению как эталонов природных комплексов. Чередование периодов похолодания и потепления (плейстоцена-голоцена), а также – цикличность проявления сейсмических и экстремальных флювиально-селевых событий способствуют формированию здесь сложных син-пост-литогенных почвенных толщ с погребенными профилями почв.

**Ключевые слова:** генезис почв, эволюция, Тункинская долина, Байкальская рифтовая зона.

**Актуальность.** Актуальность исследования определяется необходимостью углубления знаний о генезисе и эволюции почв и ландшафтов особо охраняемых участков Байкальской природной территории, являющихся буферными зонами влияния на экологию памятника Всемирного наследия – оз. Байкал. Здесь создана целая система ООПТ с целью охраны эталонов природы и организации рекреационного использования малонарушенных разнообразных и уникальных ценозов и ландшафтов. Изучение геосистем естественного развития необходимо для определения тех критериев, выход за пределы колебаний которых будет являться "аналитическим сигналом" дестабилизации экосистем и необходимости нормирования рекреационных нагрузок при неумеренном антропогенном вмешательстве.

**Объекты и методы исследования.** Объектами нашего исследования являются почвы Тункинской долины и ее горного обрамления, включающей Тункинский национальный парк, созданный в 1991 г. Это первый в России опыт совмещения национального парка с границами всего административного района (Тункинского – республики Бурятия) с целью сохранения уникальных экосистем (от степей до горных тундр). Полевыми исследованиями в разных районах ТД с применением почвенно-морфологического, педо-литологического, ботанического, геолого-геоморфологического, сравнительно-географического и сравнительно-исторического методов исследования было охвачено свыше 30 почвенных разрезов. Лабораторные исследования основных физико-химических свойств почв были проведены в 15 почвенных разрезах с использованием общепринятых методов исследования.

**Особенности природных условий.** Крупная (>1,5 млн км<sup>2</sup>) Хангай-Алтае-Саянская горная страна возникла в пределах Центральной Азии на рубеже 3 млн. лет назад [1]. Рост гор сопровождался вулканической активностью внутриплитного типа, свидетельствующей об участии подлитосферной мантии и мантийного плюма в процессах горообразования. Фундамент юго-западного фланга Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) включает фрагменты двух геоструктур Азии – Сибирской платформы и Центрально Азиатского подвижного пояса, разделенных протерозойским главным разломом Восточного Саяна. Подвижный комплекс представлен тремя террейнами [2] – Восточно-Тувинским, Джидинским, Тувино-Монгольским. Рифейские впадины приурочены к зоне сочленения древнего континентального массива с каледонской складчатой системой Восточного Саяна, сформированной на месте позднерифейского океана [3, 4]. Поэтому в районе исследования отмечается аномальная гравитационная и сейсмическая активность.

Тункинский рифт, протягивается субширотно на 200 км на юго-западном фланге Байкальской рифтовой зоны от оз. Байкала до оз. Хубсугул Монголии. Тункинская долина (ТД) – это своеобразное звено в цепи тектонических опусканий – система из 6 суходольных впадин байкальского типа, которые располагаются вдоль Тункинского рифта [5]. Впадины выполнены мощной толщей (до 2500 м) кайнозойских отложений, которые переслаиваются с породами неоген-четвертичных базальтов. С севера ТД ограждена Тункинским хребтом с вы-

сота́ми до 3000 м и выше, С юга рифт сопровождается хребет Западный Хамар-Дабан, представленный полого-наклонным на юго-запад вулканическим плато, примыкающим к озеру Хубсугул в Монголии. Рельеф впадин Тункинской долины, несмотря на общую равнинность днища, характеризуется достаточно большой сложностью и генетическим разнообразием. В их пределах выделяют 5 высотных поясов: равнин и предгорных наклонных шлейфов, вершин, склонов и днищ долин в крыльях рифта. В пределах самой крупной – Тункинской впадины расположены обширные озёрно-болотные низины зон новейших (голоценовых) интенсивных погружений, аллювиальная террасированная равнина констративного типа, крупный песчаный массив Бадары (древняя ледниково-зандровая в виде куполовидной возвышенности равнина высотой 130–150 м).

Особыми формами рельефа днища Тункинской впадины являются молодые позднечетвертичные вулканы, представляющие собой результаты одноактных извержений с максимальной высотой шлаковых конусов до 80 м. В Тункинском рифте вулканизм с извержением базальтовых лав и образованием конусов вулканов центрального типа начался в миоцене, продолжился в плиоцене и плейстоцене. Выявлена связь между эндогенными (вулканизм и горообразование) и экзогенными (формирование ледников) процессами на протяжении последних 3 млн. лет. Все эпохи похолодания в Байкальском регионе (после 1.8 млн. лет) сопровождались горными оледенениями с мощностью ледникового панциря до 3 км при площади ледников до 100000 км<sup>2</sup> [6]. При таянии ледников образовывались лессовые покровы сартанского возраста (11550–16120 лет), которые впоследствии переоткладывались древними эоловыми и водными потоками, достигая мощности с погребенными почвами на западных заветренных склонах – до 1,5–3 м.

**Обсуждение результатов.** Сложная геологическая история региона и сильная рассеченность территории определили большое разнообразие коренных и почвообразующих пород и их высокую неоднородность в петрографическом и литологическом отношении. Почвообразующими породами в основном выступают широко распространенные терригенные, терригенно-карбонатные и карбонатные метаморфические комплексы протерозойских отложений, представленных темно-серыми известняками (иногда песчанистыми, графитистыми), углисто-глинисто-карбонатными сланцами, прорванными интрузиями гранитов, сиенитов, гранодиоритов, амфиболизированными эффузивами основного и среднего состава, известняковыми конгломератами. В формировании почвенного покрова Тункинской котловины большое участие принимают также делювиально-пролювиальные, флювиогляциальные и озерно-аллювиальные отложения и плащеобразные покровы лессовых и лессовидных пород сложного генезиса.

Растительное разнообразие впадин ТД, наряду почвообразующими породами и горным рельефом, геодинамическими и мерзлотно-гидрогеологическими условиями, гидротермическими режимами – обуславливают высотно-зональную поясность и кольцевое распределение каскадных почвенно-геохимических систем впадин [7]. Высокогорно-гольцовый пояс представлен комплексами тундровых лишайниково-кустарничково-пустошных и альпийско-луговых разнотравно-дриадовых ценозов с литоземами, криоземами, глеезёмамикриометаморфическими, перегнойно-темногумусовыми (глееватыми) почвами. Из-за влияния климатического фактора, скелетности связь почв с растительностью и литологией в холодных гумидных условиях Тункинских Альп снижается.

Горно-таежный пояс характеризуется широким распространением многообразных светлохвойных сосново-лиственничных лесов с формированием здесь ожелезненных торфяно-дерново-подбуров (рис. 1, е), подбуров глеевых, ржавоземов, а на более прогреваемых южных склонах – торфяно-криоземов криометаморфических грубогумусовых без признаков ожелезнения. Таежные темнохвойные (елово-кедрово-пихтовые) леса подгольцового пояса встречаются преимущественно в восточной части системы Тункинских впадин и на хребте Хамар-Дабан. Здесь распространены кислые, криогенно-ожелезненные грубогумусные фульватного типа почвы, в которых сочетаются подзолистый, торфяной, глеевый, перегнойный и альфегумусовый процессы: (сухо)торфяно-подзолы-(подбуры), торфяно-подзолы-(подбуры) глеевые, подбуры(перегнойные глееватые) и т.п.

На элюво-делювии базальтовых массивов Еловского и других отрогов Тункинских Альп под бобово-разнотравно-злаковыми сосново-осино-березовыми лесами формируются мало-мощные дерново-подзолы (рис. 1, в), в нижних частях склонов часто наложенные на погребенный профиль бурозема ожелезненного (AYao-EL-VTf-[AYel-BMF]<sup>1</sup>), что говорит в пользу более холодного климата в прошлом. Почвы характеризуются слабо-кислым рН почвенного раствора, замедленностью процессов гумусообразования, с довольно высоким содержанием обменных катионов, тяжелым гранулометрическим составом благодаря выветриванию основных магматических пород. На более низких отметках под пологом лиственничной и кедрово-лиственничной тайги формируются «глубоко-промерзающие», но без монолитного смерзания неоподзоленные и слабооподзоленные серогумусовые почвы, буроземы кислые игрубогумусовые, дерново-элювиально-метаморфические почвы, а также – (дерново)-подзолистые почвы, характеризующиеся невысокой устойчивостью.

На делюво-элювии распространенных в горах мраморизованных известняков развиваются карболитоземы перегнойные и темногумусовые (АО-(АН)-AU-ACca-Cca-Rca) (рис. 1, а), в которых под пологом лиственнично-сосновых лесов консолидированные плотные породы инситу превращены в мелкозем в результате внутрпочвенного дезинтеграционно-метаморфического выветривания при сезонном криогенезе холодного семигумидного климата, т.е. влияния промерзания-оттаивания, гидратации и криогидратации.

На остаточнок-карбонатных покровных лессовидных породах двух возрастных комплексов, на подгорных нижних частях южных и юго-восточных шлейфов Тункинских Гольцов и на отрогах хр. Хамар-Дабан под сосново-лиственничными лесами развиваются преимущественно буроземы (АО-AY-BM(f)-BM-BCca-Cca) (рис. 1, г) и буроземы темногумусовые. На высоких террасах речных долин и на северо-западных подветренных склонах вулканических конусов Тункинской котловины формируются серые элювиированные с профилем АО-AY-AEL-BM-BMca-BCm,ca-Cca [8] и темно-серые метаморфические остаточнок-карбонатные почвы (рис. 1, д), иногда – на погребенных каштановых (или криоаридных почвах). Почвы имеют щелочную рН<sub>(H2O)</sub> профиля, среднее до высокого содержание гумуса, обменных катионов и карбонатов, нейтрализующих подзолистый процесс. Причем, наиболее оптимальные условия для почвообразования создает смешанный элювий вулканических шлаков и лессовидных суглинков.

На пологих предгорных пролювиально-коллювиальных шлейфах нижних частей склонов Тункинских Альп распространены смешанные травянистые лиственнично-(пихтово-березово-осиново)-сосновые леса. Под их пологом часто на суглинистых отложениях формируются серые почвы (рис. 1, б) с дифференциацией профиля по илу, средней насыщенностью ППК обменными катионами, значительной аккумуляцией гумусовых веществ.

Подгорные светлохвойные сосновые остепненные разнотравные леса приурочены преимущественно к молодым (кайнозойским) долинным супесчано-песчаным отложениям пролювиально-озерно-аллювиального генезиса. На флювиогляциальных песках и супесях зандрового (озерного) массива «Бадары» древних горно-долинных ледников ТД под злаково-бобово-разнотравными березово-лиственнично-сосновыми лесами формируются слабокислые дерново-подбуры иллювиально-железистые с погребенными серогумусовыми криотурбированными омергеленными почвами с профилем АО-AY(el)-BF-BCf-C(cf)-[AY@<sub>ml</sub>-C<sub>1</sub>@<sub>ml</sub>-C<sub>2ml</sub>@-C<sub>3</sub>@<sub>ml</sub>]<sup>1</sup> (рис. 1, е). Супесчано-песчаный состав и кислотность, образующаяся при разложении лесной подстилки, способствуют развитию процессов элювиирования и миграции гумусово-железистых хелатных комплексов.

Локально на дренируемых участках речных долин более низкого гипсометрического уровня встречаются разнотравно-мёртво-мохово-осоковые еловые и елово-березовые леса, под пологом которых на переотложенных аллювиально-эолово-пролювиальных часто омергеленных отложениях развиваются серо-(темно)-гумусовые глинисто-иллювиированные остаточнок-омергеленные (глееватые) почвы, а в заболоченных долинных ельничково-кустарниковых низинах – торфяно-(перегнойно)-квазиглеевые почвы.

Настоящие степи распространены в Мондинской, Туранской и Тункинской котловинах, прилегающих склонах Тункинского хребта, отдельными участками – даже в подгольцовой

зоне, что, несомненно, указывает на их реликтовый характер от ксеротермической эпохи раннего голоцена. На суглинистых отложениях пологонаклонных подгорных шлейфов распространена тырсовая степь с каштановыми ксерогумусовыми дисперсно-карбонатными почвами. Под разнотравно-злаковым и тонконоговыми степными ценозами долин, на делюво-элювии карбонатных покровных лессовидных суглинков террас р. Иркут и вулканических конусов формируются чернозёмы (агрочерноземы) криогенно-мицеллярные (PUd-BIy-(BCAy)-BCcf-C1g,ca~C2g,ca~) и глинисто-иллювиальные (AU<sub>ca</sub>-PU<sub>ca</sub>-BI<sub>ca</sub>-[AUca]-BCA<sub>dc</sub>-C<sub>ca</sub>), часто распаханые. Вследствие остепнения злаково-бобово-разнотравных лугов темногумусовые (глееватые), черноземовидные (AHdc-CRHdc-AUBg@(dc)-BMg-BCg-Cg-D-[AUMg,g-BCg]) почвы котловин преобразуются в черноземы.

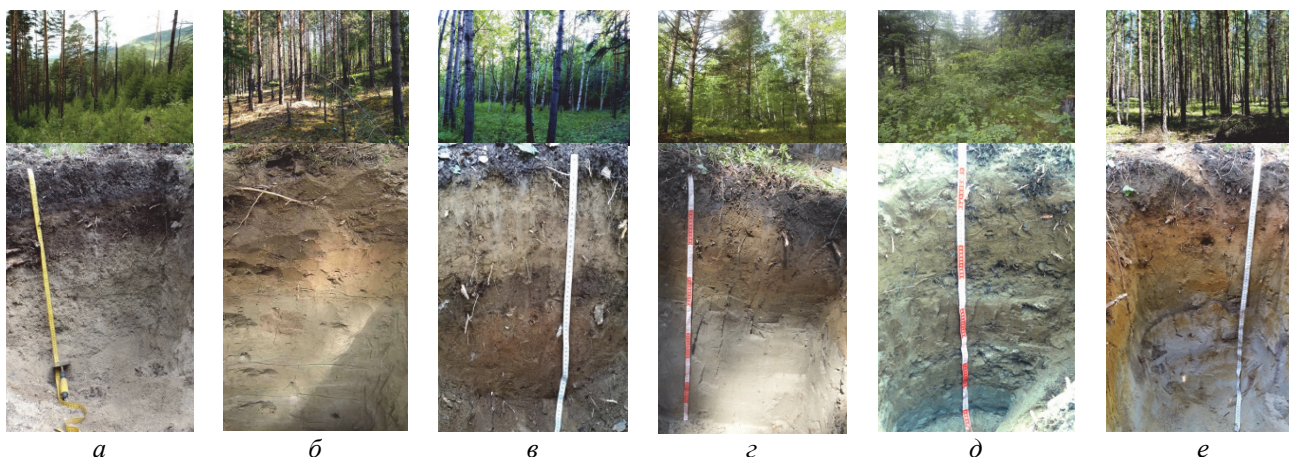


Рис. 1. Почвы Тункинской котловины: *а* – карболитозем перегнойно-темногумусовый; *б* – серая на покровных суглинках с вулканическими шлаками; *в* – дерново-подзолистая грубогумусовая на погребенном дерново-подбуре; *г* – бурозем остаточно-карбонатный; *д* – серая метаморфическая на погребенной каштановой почве; *е* – дерново-подбур иллювиально-железистый криометаморфический

В климатический минимум плейстоцена – во второй фазе раннесартанского времени Sr2 (примерно 21–18 тыс. лет назад) на юге Сибири была в основном распространена тундростепь, периодические фазы потеплений и похолоданий вплоть до 10,3 тыс. способствовали формированию холодных криоксерофитных степей с отдельными островками леса и слаборазвитыми и примитивными почвами. Весьма резкий характер границы между сартанской и голоценовой частью почвенного профиля свидетельствует о резких (в геологическом масштабе времени) и кардинальных изменениях природно-климатической обстановки, что может быть связано с влиянием импакта [9, 11, 12] – возможного столкновения (~12,9 тыс. лет назад) Земли с космическим космоподобным телом (возможно – метеоритом с диаметром 4 км шириной и энергией в 107 мегатонн), – раздробившимся в атмосфере, как и Тунгусский метеорит, что не оставило на поверхности Земли кратера и видимых повреждений, но привело к значительному похолоданию климата на Земле, растрескиванию грунта. В среднем голоцене (8–4,9 тыс. лет) наряду с распространением светлохвойных и мелколиственных пород началась экспансия леса на криоксерофитные степи. Наиболее оптимальные по климату условия приходились на позднеатлантическое время (6–4,9 тыс. лет назад) и способствовали развитию степного типа почвообразования, формированию черноземовидных и каштановидных почв с гуматным типом гумуса, усилению процесса метаморфического оглинивания профиля.

**Заключение.** Долинные почвы Тункинской котловины имеют достаточно сложный наложенный син-пост-литогенный генезис благодаря чередованию периодов похолодания и потепления (плейстоцена-голоцена), а также – цикличности проявления экстремальных сейсмических и флювиально-селевых событий. В исследованных полипалеогенетических почвенных толщах с погребенными профилями почв как вложенного, так и наложенного генезиса отражается смена климатических и других условий: более теплого периода почвообразования (возможно, оптимума голоцена) на более холодные современные условия. В условиях

накопления субаэральных отложений БРЗ, у подножий склонов и шлейфов подгорных хребтов почвы «прирастали» вверх, формируя современные профили черноземов и каштановых почв, карбонатный горизонт которых (возрастом от 12 до 30 тыс. лет) не связан с современным почвообразованием. Карбонатность и пылеватость лессовидных отложений Тункинской котловины способствует формированию на них достаточно плодородных долинных почв. Плодородие почв обусловлено хорошим дренажем и прогреванием, что создает оптимальные температурные условия для формирования и накопления рыхлого гумуса гуматного состава с высоким содержанием углерода и азота. Как правило, почвы обладают щелочным  $pH_{\text{водн.}}$ , средне-суглинистый гранулометрический состав и хорошо оструктурены, насыщены обменными основаниями с преобладанием Са. Все это, наряду с элювиальными позициями и карбонатностью (омергеленностью), повышает потенциальное плодородие долинных почв Тункинской котловины и их экологическую устойчивость, что весьма важно для расширения зоны экстенсивного сельскохозяйственного и рекреационного использования и сохранения природно-экологического потенциала особо-охраняемых территорий.

### Литература

1. Логачев Н.А. Развитие рельефа // Кайнозойский вулканизм Тункинской впадины: материалы по изучению производительных сил БАССР, 1954. Вып. 1. С. 16–25.
2. Coney P.J., Jones D.L., Monger, J.W.H. Cordilleran suspect terranes // Nature. 1980. V. 288. P. 329–333. doi: 10.1038/288329a0.
3. Обручев С.В., Великославский Д.А. Докембрий западного побережья Байкала // Труды лаборатории докембрия АН СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1953. Вып. 2.
4. Флоренсов Н.А. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. М.: Изд-во АН СССР, 1961. Вып. 19. С. 29–33.
5. Боос Р.Г. Палеозой Тункинских гольцов Восточного Саяна. Новосибирск: Наука, 1991. 144 с.
6. Ярмолюк В.В., Кузьмин М.И. Корреляция эндогенных событий и вариаций климата в позднем кайнозое центральной Азии // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2006. Т 14, № 2. С. 3–25.
7. Мартынова Н.А., Белоусов В.М., Шаброва Е.В., Кришкевич Ю.А., Инешин В.А. Стабилизационные механизмы экологического функционирования почвенного покрова Тункинской котловины Байкальской рифтовой зоны // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: материалы IV межд. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию кафедры почвоведения и оценки зем. ресурсов ИГУ / под ред. Н.И. Граниной. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2016. С. 166–170.
8. Почвы холодных областей: генезис, география, экология (к 100-летию со дня рождения профессора О.В. Макеева): путеводитель научных экскурсий всероссийской научной конференции с международным участием (г. Улан-Уде-Сосновоозерск-Горячинск-Аршан, 31 августа-9 сентября 2015 г.) / Н.Б. Бадмаев [и др.]. Улан-Уде: Изд-во БНЦ СО РАН, 2015. С. 98–132.
9. Воробьева Г.А., Бердникова Н.Е. Природные и культурные феномены Прибайкалья на рубеже плейстоцена и голоцена // Тр. II (XVIII) Всероссийского археологического съезда в Суздале. М.: ИА РАН, 2008. Т. 1. С. 53–55.
10. Firestone R.B., West A., Kennett J.P. et al. Evidence for an extraterrestrial impact 12,900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling // PNAS. Vol. 104, № 41. October 9, 2007.

### THE PECULIARITIES OF FOREST SOIL FORMATION OF TUNKINSKY DEPRESSION OF BURYATIA REPUBLIC

N.A. Martynova, M.V. Truhanova

State educational institution of the higher education «Irkutsk State University», Irkutsk, Russia, natamartirk@yandex.ru

**Summary.** *The territory of the South-Western branch of the Baikal rift zone has unique natural features, what determines the development of various landscapes here with specific soils and biocenoses, which are subject to their preservation as standards of natural complexes. The alternation of cold and warming periods (the Pleistocene-Holocene), as well as the cyclical manifestations of seismic and extreme fluvial – mudflow events contribute to the formation of complex sin-post-lithogenic soil' layers with buried soil profiles.*

**Keywords:** *Genesis of soils, Tunkinskaya valley, evolution, Baikal rift zone.*

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИСУТСТВУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ ИЛИСТОЙ ФРАКЦИИ И ПРОЦЕНТНОЕ СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛОВ В ГОРНЫХ ПОЧВАХ НАХИЧЕВАНСКОЙ АР

Г.Д. Мехтиеv

Институт почвоведения и агрохимии Национальной АН Азербайджана, huseyn.mehdiyev.59@mail.ru

**Аннотация.** Изучены минералогический состав илистых фракций и процентное содержание минералов типичных, малогумусовых, глееватых и среднесуглинистых интерезонально черноземовидных почв и процентное содержание минералов светло сероземных-коричневых (каштановых) почв горных условия в Нахичеванской АР. Распределение илистой фракции почв равномерное. Соотношение указанных силикатов существенно изменяется в пределах профиля: фиксируется уменьшение содержания смектита и относительное увеличение количества иллит (гидрослюда) по всему профилю почв. А в нижних горизонтах увеличено количество каолинита и хлорита, отмечается примесь тонкодисперсного кварца, калиевых, полевых шпатов. Такая закономерность отмечается и в светло сероземных-коричневых (каштановых) почв горных зон Нахичеванской АР. Различия в илистой фракции этих почв заключается в большем количестве содержания кварца, калиевых, полевых шпатов и породами кальцита.

**Ключевые слова:** интерезонально черноземовидные почвы, суглинки, минералы, смектит, иллит (гидрослюда), хлорит, каолинит, полевых шпатов, кварца, гумус.

**Введение.** Минералогический состав интерезонально черноземовидных почв и процентное содержание минералов светло сероземных-коричневых (каштановых) почв давно интересует почвоведов Азербайджана.

Процентное содержание минералов в светло сероземно-коричневых (каштановых) почвах составляет: иллит (гидрослюда) (5,4–9,5%), смектитовых-монтмориллонитовых, компонент (16,2–16,8%) и в том числе каолинит (10,4–12,0%).

Глинистый материал интерезонально черноземовидных почвах, имеет отличительные черты минеральных пакетов в смешаннослойных слюда-смектитовых (хлоритовых) образованиях, а также по структурному состоянию минералов почв.

**Объекты и методы.** Минералогические исследования проведены в интерезонально черноземовидных горных почв, в южных склонов Нахичеванской АР.

Для проведения анализа минералогического состава интерезонально черноземовидных горных почв выбраны объекты находящиеся в различных условия почвообразования в пределах южных гор Нахичеванской АР.

Интерезонально черноземовидные горные почвы характеризуются малогумусной, глееватый и тяжелосуглинистой почвой в Нахичеванской АР. В том числе изучено процентное содержание минералов в светло сероземных-коричневых (каштановых) почв южных зонн Нахичеванской АР. Эти почвы по объемному весу уплотненные глубинно-глееватые и слабо карбонатные.

Подготовка почвенных образцов и отмучивание илистой фракции из интерезонально черноземовидные почв выполняли в Институтах Почвоведения и Агрохимии Национальной АН Азербайджана по методике Н.И.Горбунова. Процентное содержание минералов изучено по аппарате Германского производства «MINI-FLEKS-600». Ориентированные препараты и рентгеновская съемка использовано  $\text{CuK}\alpha$  – излучение. Анализы выполнены в области углов  $2\text{--}52^\circ$ , со скоростью  $0,02\text{--}41^\circ\text{C}$ . режим съемки напряжение  $40\text{ кВ}$ , сила тока  $30\text{ мА}$ . Ориентированные препараты снимали Na форма, после насыщения парами с глицерином.

**Результаты и обсуждение.** Изучение минералогического состав интерезонально черноземовидных горных почв в почвенном профиле показано что, содержание гумуса составляет 2,06%, почва нейтральная 7,0–7,34, слабо карбонатная 4,00–4,43%, емкость объемного веса слабое и изменяется в профилях  $0,93\text{--}1,1\text{ г/см}^3$ . В светло сероземно-коричневых (каштановых) горных почвах анализ рН – в основной щелочная 8,0–8,4, слабо карбонатная 5,88–7,56%, емкость объемного веса уплотненная и изменяется в пределах  $1,50\text{--}1,56\text{ г/см}^3$ . Минералогический состав илистой фракции интерезонально черноземовидных горных почв Нахичеванской АР из

рентгендифрактограммных снимками показывает в пиках 1,350 нм, 0,710 и 0,474 нм. При насыщении с глицерином его пик часто увеличивается и составляет 1,650 нм. При прокаливании с температурам 550°C его пик резко изменяется и составляет 1,250 нм (рис. 1).

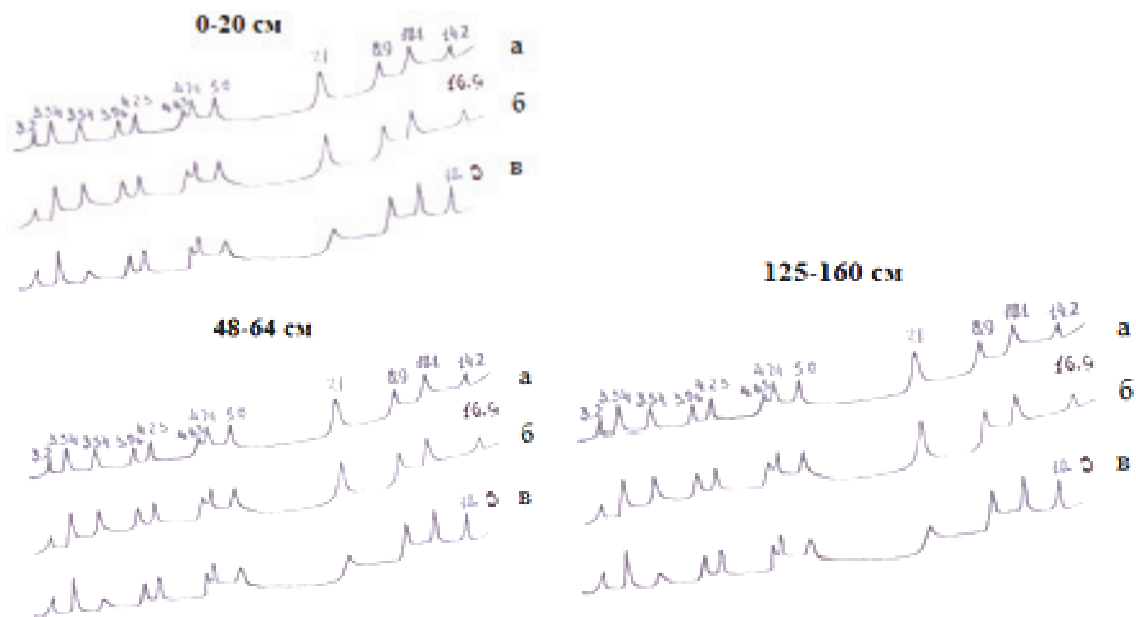


Рис. 1. Минералогический состав илистой фракции интерзонально черноземовидных горных почв Нахичеванской АР: а – воздушно сухая почва; б – насыщение с глицерином; в – после прокаливании 550°C

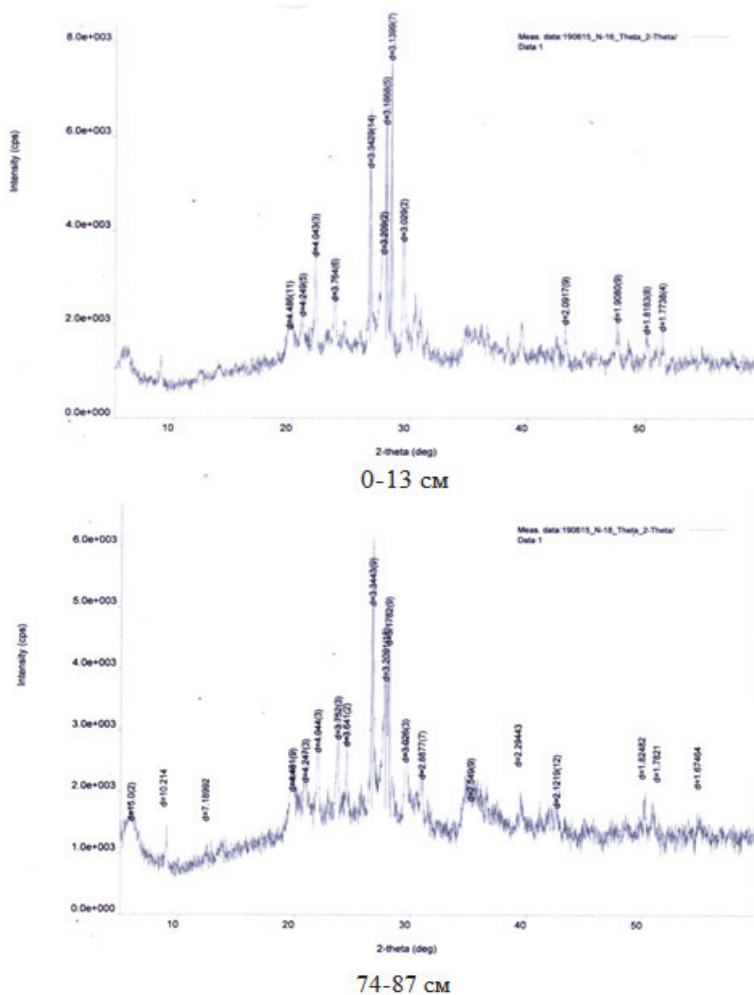


Рис. 2. Процентное содержание минералов светло сероземно-коричневых (каштановых) горных почв Нахичеванской АР

Иллит (гидрослюда) в рентгендифрактограммах имеет пиками 1,00 нм, 0,500 нм, 0,334 нм. При насыщении с глицерином и прокаливании его содержание не изменяется, и остается в первом порядке минералов иллит (гидрослюда).

Минералы группы каолинита существует в нижних горизонтах почв в рентгендифрактограммах изменяется с пиком 0,710 нм и 0,358 нм. При сольватации с глицерином и при прокаливании 550°C его пик резко уменьшается и составляет 0,358 нм.

В рентгендифрактограммах также существует первичные минералы тонкодисперсного кварца и полевые шпата.

Процентное содержание минералов светло сероземно-коричневых (каштановых) горных почвах существует минерал монтмориллонит и изменяется в пределах 16,2–16,8%, минералов иллит (гидрослюда) 5,4–9,5%, каолинита 10,4–12,0%, а также существует минералов d-кварца ( $\text{SiO}_2$ ) и изменяется в пределах 19,6–20,2%, полевой шпат 14,1–16,1%, содержание вулканический пыли низкое и изменяется в пределах 7,0–7,8% (рис. 2).

Минералов калсита ( $\text{CaCO}_3$ ) в этих почвах резко увеличивается и составляет 12,0–15,5%, содержание гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) среднее и изменяется процентах 5,1–6,9%, а содержание NaCl очень низкая и содержат в процентах 2,0–3,5%.

**Выводы.** 1) В результате полученных данных видно, что интересонально черноземовидные горные почвы в условиях Нахичеванской АР очень типичные, глееватые, слабо гумусовые 2,06%. 2) Минералогический состав илистой фракции интересонально черноземовидно горных почв характеризуются содержанием минералов иллит (гидрослюда), смектита в основной содержатся в средней и нижней горизонте, минерал каолинита основной содержат в нижних горизонтах почв. 3) Процентное содержание минералов светло сероземно-коричневых (каштановых) почвах в илистой фракции очень низкое, а содержание первичного минерал высокое и изменяется в пределах d-кварца ( $\text{SiO}_2$ ) 19,6–20,2%, полевого шпата 14,1–16,1%, и породам калсита ( $\text{CaCO}_3$ ) 12,0–15,5%. 4) При сравнении с светло сероземно-коричневым (каштановым) почвам, в интересонально черноземовидных горных почвах содержание первичных минералов низкое и основной состоит из минерала кварца и полевого шпата. Из полученных результатов видно, что минералогический состав илистой фракции интересонально черноземовидные почвы имеют большую история формирования превращении и выветривании глинистых минералов из пород.

Процентное содержание минералов светло сероземно-коричневых (каштановых) горных почв предполагается, что содержание минерала кварца, полевого шпата, кальцита высокое, чем остальные.

Полученные результаты будут использованы в производства сельскохозяйственных культур под разными угодьями.

## Литература

1. Алиев Г.А. Почвы Большого Кавказа (В пределах Азербайджанской Республики). Баку, 1994. 308 с.
2. Алиев Г.А., Зейналов А.К. Почвы Нахичеванской АССР. Баку, 1988. 237 с.
3. Глазовская М.А. Среднеазиатская ландшафтно-геохимическая арена аккумуляции и транслокации педогенных углеродистых соединения // Почвоведение. 1996. № 1. С. 23–34.
4. Градусов Б.П. Генетико-географические закономерности структурно минералогических общностей почв и их поглопитательной способности // Почвоведение. 1996. № 5. С. 599–610.
5. Крипари Г.А. Минералогический состав илистой фракции водопрочных агрегатов темно-серой лесной почвы // Почвоведение. 2006. № 1. С. 81–96.
6. Салаев М.Э. Диагностика и классификация почв Азербайджана. Баку, 1991. С. 237.
7. Соколова Т.А. Разрушение глинистых минералов в модельных опытах и в почвах: возможные механизмы скорость, диагностика (анализ литература) // Почвоведение. 2013. № 2. С. 201–219.
8. Соколова Т.А. Спецфика свойства в ризосфере анализ литературы // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1097–1112.
9. Урушадзе А.Т., Чижикова Н.П., Урушадзе Г.Ф. Минералогический состав илистой фракции аллювиальных почв Восточной Грузии // Почвоведение. 2006. № 5. С. 578–591.



10. Чижикова Н.П., Зенова Г.М., Манучаров А.С., Оморова Е.О., Орлеанский В.К. Изменения в структуре главнистых минералов под влиянием альгобактериальных сообществ // Почвоведение. 2005. № 8. С. 1012–1016.

**COMPARATIVE CHARACTER OF MINERALS IN SILTY FRACTION AND MINERALS PERCENTAGE CONTENT IN THE MOUNTAINOUS SOILS OF NAKHCHIVAN AR**

H.J. Mehdiyev

Institute Of Soil Science and Agro Chemistry of ANAS (National Academy of Science of Azerbaijan) Az. 1073, c. Baku, str. M. Rahim 5. Email huseyn.mehdiyev.59@mail.ru

**Summary.** *The mineralogical content of the silty fractions and percentage ratio of minerals in typical, low humic, medium loamy intrazonal chernozemic soils and percentage ratio of minerals in bright serozem-brown soils under the mountainous conditions in Nakhchivan AR. The silty fraction distribution of soils is even. A ratio of indicating silicate is essentially changed in profile limits smectite content reduction and relatively increase of silty quantity (hydroslude) are fixed on the whole of soil profile. And an amount of caolinite and chlorite gets increased on the low layers, fine-dispersion admixture of quartz, potassic, field spar. Such legitimacy is noted in the bright serozem-brown (chestnut) soils of the mountainous zones in Nakhchivan AR. Difference in the silty fraction of these soils results in content quantity of quartz, potassic, field spar and volcanic dust.*

**Keywords:** *intrazonal chernozemic solis, quartz, humus, loams, minerals, smectite, silt (hydroslude), chlorite, caolinite, field spar.*

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ТАКСОНОМИЧЕСКИХ РАЗЛИЧИЙ СВОЙСТВ ПОЧВ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

И.В. Михеева, А.А. Оплеухин

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, pulya80@ngs.ru, plymbym@rambler.com

**Аннотация.** В работе определены вероятностно-статистические модели и информационная дивергенция свойств основных зональных почв юга Западной Сибири на разных таксономических уровнях (типы, подтипы, разновидности). На их основе проведена количественная информационная оценка классификационных различий почв. Результаты показали количественно различное информационное влияние факторов почвообразования (гранулометрического состава, климата, рельефа) на содержание органического вещества (гумуса) в почвах.

**Ключевые слова:** вероятностно-статистические модели, матрица информационной дивергенции, содержание гумуса, каштановые почвы, черноземы южные.

**Актуальность.** Изучение характера, количественная оценка и математическое моделирование пространственной и временной изменчивости почвенных свойств является одной из актуальных задач как теоретического, фундаментального, так и прикладного почвоведения. Создание вероятностно-статистических и информационных моделей свойств почв для разных таксономических уровней поможет выявить характер и количественно оценить разноразнообразную изменчивость почвенных свойств при различном количественном проявлении почвообразующих факторов.

В настоящее время в России и за рубежом используются различные классификационные (таксономические) и ссылочные системы, которые оперируют с так называемым «центральным образом» почвенных классов. Однако реальное пространственное варьирование свойств почв, тех или иных таксономических групп на отдельных территориях практически не изучалось. Понятие «центрального образа почвенных классов» до сих пор было лишено реального вероятностно-статистического смысла. Тем не менее, в 60–90 гг. XX столетия на огромных территориях сельскохозяйственной зоны России (Советского Союза) были проведены крупномасштабные мониторинговые исследования состава и состояния почвенного покрова, соответственно той классификационной системе, которая существовала в это время. В результате проведенных исследований было получено большое количество данных о пространственной выраженности почвенных свойств, что позволяет провести количественную информационную оценку таксономических различий изменчивости почвенных свойств. Полученные при этом вероятностно-статистические модели и информационные характеристики свойств почв таксономических групп могут, при наличии установленной корреляции между системами классификации, быть распространены на таксоны других систем.

**Объекты и методы исследования.** Крупномасштабные и детальные почвенные исследования показали, что, даже в гомогенных объектах, почвы характеризуются существенными флуктуациями и варьированием свойств в пространстве. Изменчивость свойств на всех уровнях организации почвенного покрова является одним из фундаментальных свойств почвы, как открытой сложной, динамичной и эволюционирующей системы.

Характеристикой вариабельности свойства является вероятностно-статистическое распределение (ВСП) его значений на территории исследуемого объекта, поэтому количественная модель состояния почвы представляет собой совокупность ВСП  $n$  свойств почвы в ее  $k$  горизонтах [1]. Исходя из этого, нами было предложено использовать вероятностно-статистические и информационные характеристики (индикаторы) для оценки состояния почв и их изменений. Для состояния почвы, помимо функций ВСП свойств почвы, в качестве характеристики состояния использована информационная (статистическая) энтропия. Для оценки изменений почв используются величины информационной дивергенции свойств и приращение энтропии. Введенные характеристики позволяют оценить степень влияния поч-

вообразующих факторов и антропогенных воздействий на вероятностную структуру значений свойств почвы и ее стабильность. Методология и методические подходы изложены в работах [1–3].

**Обсуждение результатов.** Тематическое исследование, проведенное на большой территории на Юге Западной Сибири, показало, что под влиянием антропогенных воздействий и естественных процессов, вызванных климатическим трендом потепления и циклами по увлажнению происходят изменения вероятностной структуры значений свойств почвы [1, 3]. По архивным данным выполнена вероятностная и информационная оценка изменений основных зональных почв на юге Западной Сибири за период 60–90 гг. XX столетия. Полученные модели и оценки, по своей сути являются статистическими эталонами (табл. 1) состояния почв, которые следует использовать для сравнения с текущими и будущими результатами на исследованных и соседних территориях.

Результаты показали (рис. 1), что при утяжелении гранулометрического состава и зональном изменении климатического фактора соблюдается предложенная нами ранее закономерность «волны» ВСП содержания гумуса (СГ). При этом ВСП смещаются вправо по оси *OX* в сторону увеличения СГ, однако в близких по факторам почвообразования почвах ВСП СГ существенно пересекаются. В каштановых среднесуглинистых почв ВСП СГ ближе к аналогу черноземных почв, нежели к каштановым почвам, более легких по гранулометрическому составу. Изменения ВСП СГ под влиянием дефляции, а также длительного земледельческого использования, на фоне климатических изменений, начавшихся в 80–90-х гг. XX столетия не приводят к значительным смещениям ВСП. Изменения происходят вследствие перестройки частот встречаемости значений чаще всего в почти неизменных интервалах варьирования, что приводит к изменению ВСП СГ.

Т а б л и ц а 1

**Вероятностно-статистические распределения содержания гумуса в поверхностном горизонте в каштановых почвах (юго-запад Кулундинской степи) и черноземах южных (Прииртышский увал)**

Год	Разновидность почвы	Тип распределения	Параметры распределения $\theta_0 ; \theta_1 ; \theta_2 ; \theta_3$	$\alpha$	h	d
Каштановые почвы						
1965	Связнопечаная, дефл+недефл	Макс. значения	0,18; 0,77			
1965	Связнопечаная, недефл	Ln-нормальное	-0,04; 0,28			
1965	Легкосупесчаная, дефл.,	Дв. показательное	3,94; 84,56	0,6	-0,02	
1965	"-" , недефл.	Su- Джонсона	-3,34; 3,21; 0,48; 0,59	0,7	0,2	0,1
1975	Легкосупесчаная	Макс. значения	0,23; 1,18	0,8	0,74	0,1
1965	Тяжелосупесчаная, дефл.,	Логистическое	1,42; 0,3	0,4	0,17	
1965	"-" , недефл.	Su- Джонсона	- 0,42; 1,64; 0,4; 1,42	0,5	0,16	0,2
1975	Тяжелосупесчаная	Накагами	0,63; 0,89; 0,98	0,5	0,15	0,1
1965	Легкосуглинистая, дефл.,	Нормальное	1,66; 0,38	0,7	0,1	
1965	"-" , недефл.	Su- Джонсона	- 1,43; 1,76; 0,48; 1,40	0,5	0,53	0,6
1975	Легкосуглинистая, недефл.	Макс. значения	0,38; 1,83	0,6	0,85	0,1
1975	Лугово-каштановая легко-суглинистая	Ln-нормальное	0,9; 0,21			
1965	Среднесуглинистая, недефл.	Su- Джонсона	- 0,61; 0,99; 0,38; 2,25	0,8		
Чернозем южный						
1989	Супесчаный	Логистическое	1,54; 0,12	0,6	-0,72	
1965	Легкосуглинистый	Ln-нормальное	0,85; 0,22	0,8	0,8	
1989	"-"	Дв. экспонен.	1,25; 0,34; 2,24	0,6	0,34	0,45
1965	Среднесуглинистый	Ln-нормальное	1,02; 0,21	0,5	0,75	
1989	"-"	Ln-нормальное	0,98; 0,15	0,2	0,48	0,18
1989	Тяжелосуглинистый	Бета 1-го рода	0,4; 0,4; 2,64; 1,29	0,3		

*Примечание.*  $\alpha$  – достигнутый уровень значимости (средний по 6 критериям); h – статистическая энтропия; d – информационная дивергенция.

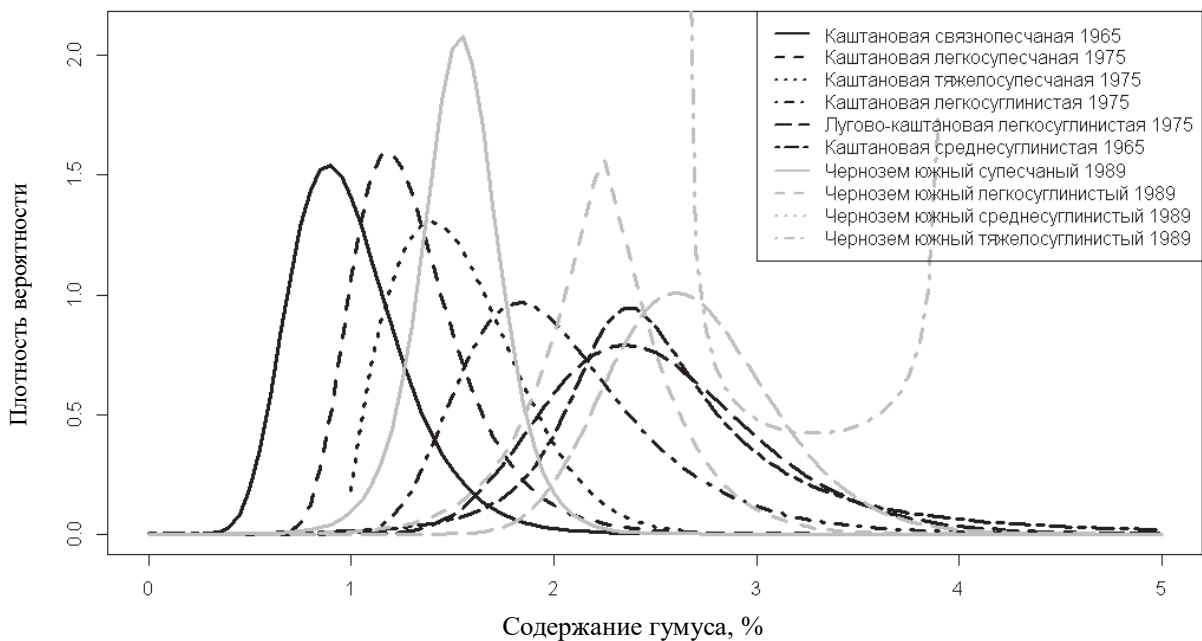


Рис. 1. Вероятностно-статистические распределения содержания гумуса в пахотном горизонте

Для количественной оценки различий вариабельности, выраженной ВСР свойств почв нами было предложено использовать величину информационной дивергенции [2]. Величина информационной дивергенции является скалярной количественной мерой различий двух вероятностных распределений. Эта величина не зависит от абсолютных величин свойств, поэтому она дает возможность относительной оценки интенсивности процессов в объектах, не сопоставимых по абсолютным количественным величинам, что важно при оценке интенсивности изменений разных почвенных свойств, их изменений в профиле, в различных почвах. Информационная дивергенция позволяет выделять наиболее уязвимые и измененные почвенные различия, а также ранжировать естественные и антропогенные воздействия соответственно степени их влияния на почвенные свойства [2].

В данной работе величина информационной дивергенции используется для оценки информационного сдвига вариабельности свойств в различных таксономических группах (типах, подтипах, родах, разновидностях) почв юга Западной Сибири, что позволяет оценить различие влияния факторов почвообразования на интенсивность почвенных процессов в разных условиях. Результаты представлены в матрице информационной дивергенции содержания гумуса в поверхностном горизонте основных зональных почв юга Западной Сибири (табл. 2).

Каждый элемент данной матрицы равен информационной дивергенции содержания гумуса в почвах двух разных таксономических групп, обозначенных в названиях строк и столбцов табл. 2. Почвы, обозначенные в названии строк и столбцов образуют литопоследовательности разновидностей каштановых почв и черноземов южных. Для информационной оценки влияния усиления увлажнения в зоне каштановых почв введены данные по лугово-каштановым почвам. Общим свойством матрицы является симметричность и равенство нулю диагональных элементов.

Полученные значения (над и под диагональные элементы матрицы) показывают, что наибольший информационный сдвиг в свойствах каштановых почв происходит при переходе в литопоследовательности от связно-песчаных к легкосупесчаным почвам (2,2), также от тяжелосупесчаных к легкосуглинистым (2,1). В литопоследовательности черноземов южных наибольший информационный сдвиг имеет место при переходе от супесчаных черноземов южных к легкосуглинистым (5,7). Информационный сдвиг содержания гумуса в поверхностном горизонте лугово-каштановых почв относительно каштановых, аналогичной разновидности в более влажный период (1975) равен 0,9 (табл. 2), что существенно меньше его значения в засушливый период (1965 – 3,9 [2]).

**Матрица информационной дивергенции содержания гумуса в поверхностном горизонте почв юга Западной Сибири**

	Разновидность	Каштановые (К)						Черноземы южные (Чю)			
		пс	сп1	сп2	лс	ЛКлс	сс	сп	лс	сс	тс
Каштановые	пс	0	2,2	1,3	11,4	15,8	10,0	4,2	9,2	30,6	–
	сп1	2,2	0	1,4	4,3	8,4	7,1	1,3	5,9	16,7	–
	сп2	1,3	1,4	0	2,1	6,3	6,6	0,3	4,0	12,1	–
	лс	11,4	4,3	2,1	0	0,9	0,4	2,9	0,7	3,0	–
	ЛКлс	15,8	8,4	6,3	0,9	0	0,2	8,1	0,6	0,4	–
	сс	10,0	7,1	6,6	0,4	0,2	0	8,5	0,9	0,7	–
Черноземы южные	сп	4,2	1,3	0,3	2,9	8,1	8,5	0	5,7	14,1	10,1
	лс	9,2	5,9	4,0	0,7	0,6	0,9	5,7	0	1,6	2,7
	сс	30,6	16,7	12,1	3,0	0,4	0,7	14,1	1,6	0	1,7
	тс	–	–	–	–	–	–	10,1	2,7	1,7	0

*Примечание.* пс – связно-песчаная; сп1 – легко-супесчаная; сп2 – тяжело-супесчаная; лс – легкосуглинистая; ЛКлс – лугово-каштановая легкосуглинистая; сс – среднесуглинистая; тс –тяжелосуглинистая.

**Заключение.** Для развития информационных подходов оценки и бонитировки почв для нужд сельского, лесного хозяйства и экологического природопользования при направленности экономики в сторону "цифровизации", необходимо создание информационных, вероятностно-статистических и динамических моделей почвенного покрова, его плодородия, как для отдельных классификационных групп почв, так и для неоднородного почвенного покрова.

В работе определены вероятностно-статистические модели и информационная дивергенция свойств почв разных таксономических уровней (типы, подтипы, разновидности). На их основе проведена количественная информационная оценка классификационных различий почв. Результаты показали количественно различное информационное влияние факторов почвообразования (гранулометрического состава, климата, рельефа) на важнейший показатель плодородия почв – содержание органического вещества (гумуса).

### Литература

1. Михеева И.В. Вероятностно-статистические модели свойств почв.. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001 200 с.
2. Mikheeva I.V. Divergence of Probability Distribution of the Soil Properties as a Quantitative Characteristic of the Soil Cover Transformation" // Contemporary Problems of Ecology. Dec. 2009. V. 2 (6).
3. Михеева И.В., Оплеухин А.А. 30-летние изменения вероятностных и информационных характеристик содержания гумуса в черноземах южных Западной Сибири // Живые и биокосные системы. 2015. № 13. URL://www.jbks.ru/archive/issue-13/article-9.

### **INFORMATION ASSESSMENT OF TAXONOMICAL DISTINCTIONS OF PROPERTIES OF SOILS OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA**

I.V. Mikheeva, A.A. Opleuhin

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, pulya80@ngs.ru, plymbym@rambler.com

**Summary.** In the paper probabilistic and statistical models and information divergence of properties of main soils at the South of Western Siberia at different taxonomical levels (types, subtypes, versions) are defined. On their basis quantitative information assessment of classification distinctions of soils is carried out. Results have shown quantitatively various information influence of factors of soil formation (particle size distribution, climate, a relief) on the content of organic substance (humus) in soils.

**Keywords:** probabilistic and statistical models, matrix of information divergence, SOM content, humus, chestnut soils, chernozems southern.

## ОСОЛОДЕЛЫЕ ПОЧВЫ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ОБЬ-ШЕГАРСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

А.Н. Никифоров, А.Г. Дюкарев

ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения  
Российской академии наук, Томск, a.nik-n@mail.ru

**Аннотация.** В статье провидены результаты исследования территории Обь-Шегарского междуречья, в почвенном покрове которой были обнаружены почвы со специфическим, не типичным для таёжной зоны строением профиля. Выявлены общие закономерности формирования почв в зависимости от геохимической неоднородности почвообразующих пород и гидрологических условий. На основе исследований построена почвенная карта фрагмента исследуемой территории, отражающая закономерности формирования почвенного покрова.

**Ключевые слова:** Обь-Шегарское междуречье, почвенный покров, осолоделые и гидроморфизированные почвы.

Территория Обь-Шегарского междуречья характеризуется нетипичным для юга таёжной зоны почвенным покровом, в структуре которого широко распространены гидрометаморфизированные почвы с различной степенью развития гумусово-аккумулятивного процесса. Собственно автоморфные почвы приурочены к наиболее дренированным элементам рельефа, а понижения заболочены. Генетическая и классификационная принадлежность исследованных почв до сих пор остается дискуссионной, хотя территория давно и активно используется в качестве различного рода с/х угодий.

Исследуемая нами территория относится к подтаёжной зоне Западной Сибири в междуречье рек Обь и ее левого притока – Шегарки. В геоморфологическом отношении это северо-восточная оконечность Барабинско-Пихтовской наклонной равнины [1, 2] сложенной карбонатными, зачастую солонцеватыми суглинками и глинами. Особенностью территории является неоднородность гидрологических и геохимических условий, широкое распространение замкнутых понижений, часто заполненных водой.

Для почв более дренированных территорий междуречья характерно сочетание признаков разной степени активности гумусово-аккумулятивного и элювиального процессов. При почвенно-географических исследованиях рядом авторов [3–7] они выделялись как серые, темно-серые и черноземы оподзоленные. Однако, учитывая солонцеватость и карбонатность почвообразующих пород, близкое расположение засоленных ландшафтов «Барабы», где не исключен субаэральный перенос солей [8], почвенный покров формируется в несвойственных кислотному гидролизу условиях, а следовательно, и в ином геохимическом типе ландшафта. Исходя из этого, нами было выдвинуто предположение о более вероятном развитии на этой территории процессов осолодения чем оподзоливания.

Исследованный ключевой участок расположен на плоской поверхности в центре междуречья слабодренированной неглубокими ложбинами и характеризуется последовательной сменой почв от гидроморфных к полугидроморфным. В центральных частях депрессий, большую часть периода вегетации заполненных водой, формируются гидрометаморфические почвы ( $T_{\Gamma}^{\Gamma}$ ) с характерной творожистой структурой аккумулятивно-гумусовых горизонтов. Их формирование обусловлено сезонной пульсацией уровня почвенно-грунтовых вод, захватывающих при этом и склоновые участки ложбин и западин. На переходных, более повышенных и часто открытых, участках формируются темногомусово-глевые и типичные почвы ( $T_{\Gamma}$ ), не редко со слабыми признаками развития элювиального процесса в подгумусовой части профиля. Высокая гумусированность почв обусловлена развитием пышной луговой, разнотравно-злаковой растительности с корневой системой постоянно находящейся в зоне капиллярного подъема почвенно-грунтовых вод. На границе лугов и парковых березняков формируются почвы с признаками дернового и элювиального процессов, проявляющихся

разной интенсивностью. Эти почвы расположены на мелких гривах и пологих склонах, образуя пятнистости и шлейфы, окаймляющие березняки. Характерной особенностью их является высокое положение в профиле карбонатов, проявляющихся уже в верхней части иллювиального горизонта (в пределах первого метра), потечность гумуса (до формирования иллювиально-гумусового горизонта) слабая солонцеватость почвообразующих пород и близко залегающих почвенно-грунтовых вод. Такое сочетание признаков, позволило нам выделить на этой территории осолоделые почвы и солоды. Дерново-солоды типичные (С<sub>д</sub>) формируют вытянутые полосы (рис. 1), окаймляющие парковые березняки на границе с темногумусо-глеевыми и типичными почвами. Для их профиля характерно формирование светлого кислого элювиального горизонта, при высокой границе вскипания почвенных карбонатов, что не свойственно для почв подзолистого типа. Солоды глееватые (С<sub>д</sub><sup>Г</sup>) занимают наиболее дренированные вершины мелких грив, образуя пятнистости, а для их профиля характерно большая отбеленность и растянутость элювиальных горизонтов, на фоне высокой границы вскипания карбонатов. В профиле обнаруживаются аккумулятивно-карбонатные горизонты ВСА с крупными конкрециями. Отнесение этих почв к дерново-подзолистым и серым оподзоленным, как это было принято, не соответствует их строению профиля и химизму. Кроме того, анализ состава водной вытяжки и почвенно-грунтовых вод выявил признаки слабой солонцеватости, что, по-видимому, наследуется от почвообразующих пород.

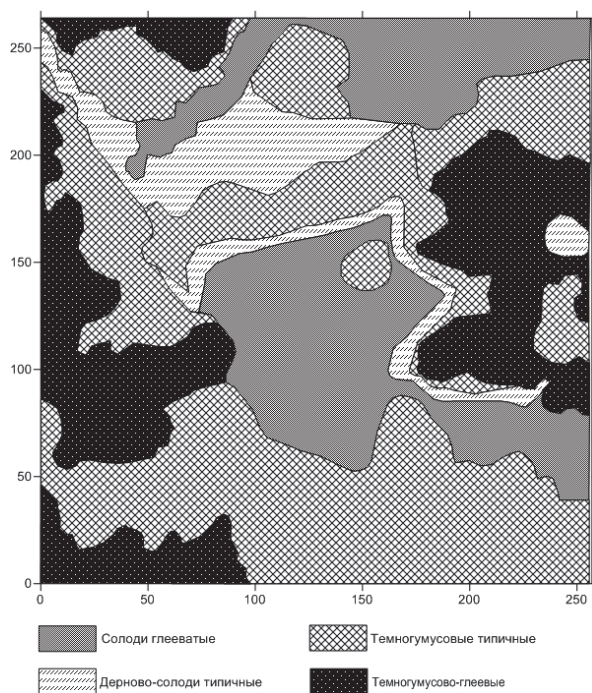


Рис. 1. Фрагмент почвенной карты исследуемого участка вблизи с. Баткат (Шегарский район Томской области)

Высокая активность гумусо-аккумулятивных процессов и формирование аккумулятивно-гумусовых горизонтов, на фоне различной степени гидроморфизма, в почвах исследуемой территории, обусловлена богатством почвообразующих пород и близким залеганием слабо-минерализованных почвенно-грунтовых вод. Мощность гумусовых горизонтов варьирует от 5–10 см до 40–60 см, в ряду от солодей к темногумусово-глеевым почвам, при увеличении содержания гумуса от 4 до 9% в том же последовательном ряду. Наименьшее содержание гумуса (рис. 2, а) в солодах связано, вероятно, с более активной миграцией продуктов гумификации по почвенному профилю и формированием текстурного горизонта с обильными, гумусовыми и гумусово-глинистыми кутанами на гранях структурных отдельностей. Темногумусово-глеевые почвы характеризуются максимальным содержанием гумуса, что связано с его консервацией в условиях их постоянного сезонного переувлажнения.

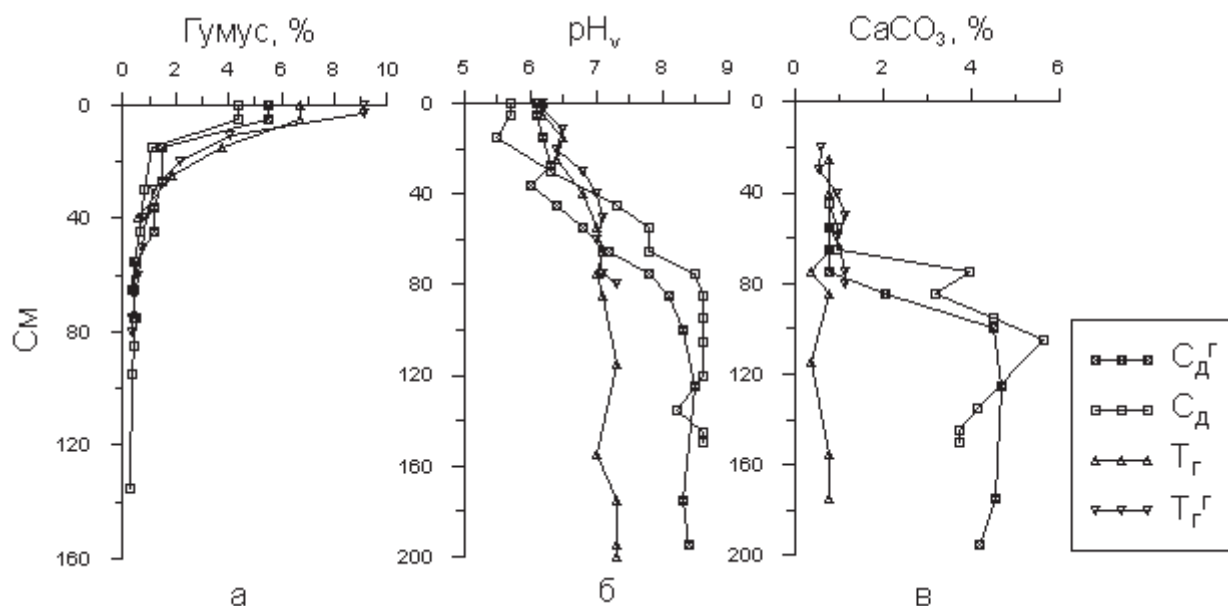


Рис. 2. Профильное распределение некоторых свойств почв исследуемой территории

Значения актуальной кислотности в верхних горизонтах солодей и осолоделых почв (рис. 2, б) свидетельствует о слабокислой и нейтральной реакции среды, с последующим быстрым переходом к слабощелочной в средней части профиля и резким изменением на щелочную после 1 м, что может так же быть использовано в качестве аргумента против подзолистого типа почвообразования.

Как уже было отмечено ранее, для почв ключевого участка характерна высокая граница вскипания почвенных карбонатов, отмечающаяся на глубине 70–80 см. Остаточное накопление карбонатов (менее 1%) в вышележащих горизонтах обусловлено сезонной пульсацией уровня почвенно-грунтовых вод, имеющих слабую степень минерализации. На глубине 100 см в солодах и осолоделых почвах выражен явный максимум (рис. 2, в) накопления карбонатов, связанный с формированием в этом горизонте крупных карбонатных конкреций в виде журавчиков и куколок.

Таким образом, почвы исследуемой нами территории формируются в условиях нейтрально-кальциевого типа ландшафта, что и повлияло на специфику этих почв. Четкая элювиально-иллювиальная дифференциация профиля, формирование кислого элювиального горизонта и хорошо оструктуренного иллювиального горизонта не является достаточным основанием отнесения их к оподзоленным почвам. Нами предлагается выделение их как осолоделых. Неоднородность почвенного покрова обусловлена различиями геохимических условий, различиями естественной дренированностью ландшафта и залегания слабо минерализованных почвенно-грунтовых вод. Высокая граница вскипания почвенных карбонатов, потечность гумуса в иллювиальной части профиля и образование плотных хорошо оструктуренных ореховатых и орехавато-призматических агрегатов свидетельствуют, скорее, об изначально более аридных условиях педогенеза, не исключая реликтовое происхождение почв этой территории.

## Литература

1. Городецкая М.Е., Мещеряков Ю.А. О закономерностях морфоструктурного плана Западно-Сибирской равнины // Структурно-геоморфологические исследования Сибири. Новосибирск: Наука», 1970. С. 21–35.
2. Олюнин В.Н. Геоморфологические условия формирования болот // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. М.: Наука, 1977. С. 30–39.
3. Горшенин К.П. Почвы южной части Сибири (От Урала до Байкала). М.: Изд-во АН СССР, 1955. 591 с.



4. Ильин Р.С. Природа Нарымского края. Рельеф, геология, ландшафты и почвы // Материалы по изучению Сибири. Томск: [б.и.], 1930. 344 с.
5. Уфимцева К.А. Почвы южно-таежной подзоны Западно-Сибирской низменности // Почвоведение. 1970. № 4. С. 13–24.
6. Уфимцева К.А. Почвы южной части таежной зоны Западной Сибири. М.: Колос, 1974. 202 с.
7. Гаджиев И.М. Генезис, Эволюция и география почв Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1988. 224 с.
8. Казанцев В.А. Проблемы педогалогенеза: на примере Барабинской равнины. Новосибирск: Наука, 1998. 280 с.

#### **REFINING SOILS IN THE SOIL COVER OF THE OB-SHEGAR INTERSECTION**

A.N. Nikiforov, A.G. Dyukarev

Federal State Budgetary Institution of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Tomsk, a.nik-n@mail.ru

**Summary.** *In the article the results of the study of the territory of the Ob-Shegarsky interfluve are seen, in the soil cover of which soil was found with a specific profile structure, not typical of the taiga zone. The general patterns of soil formation are revealed depending on the geochemical heterogeneity of soil-forming rocks and hydrological conditions. On the basis of the studies, a soil map of the fragment of the investigated territory was constructed, reflecting the patterns of formation of the soil cover.*

**Keywords:** *Ob-Shegar interfluve, soil cover, solodized and hydromorphosed soils.*

## МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЁССОВО-ПОЧВЕННОЙ ФОРМАЦИИ РАЗРЕЗА СТРЕЛИЦА-2017

П.Г. Панин<sup>1</sup>, Ш. Янг<sup>2</sup>, С.Н. Тимирева<sup>1</sup>, П.И. Калинин<sup>1,3</sup>, Ю.М. Кононов<sup>1</sup>,  
К.Г. Филиппова<sup>1</sup>, Е.А. Константинов<sup>1</sup>, Е.О. Мухаметшина<sup>1</sup>,  
В. Жианг<sup>2</sup>, Л. Гуо<sup>2</sup>, П.Р. Назаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт географии РАН, Москва, Россия, pgranin@igras.ru

<sup>2</sup> Институт геологии и геофизики КАН, Пекин, Китай

<sup>3</sup> Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Россия

**Аннотация.** В статье рассматривается строение лёссово-почвенной формации разреза Стрелица-2017 (Воронежская область). Результатом этой работы является реконструкция почвенного покрова в позднем, среднем и раннем плейстоцене. Выявлено, что ранне- и среднеплейстоценовые межледниковые палеопочвы развивались в более влажных условиях, чем позднеплейстоценовые и современные почвы.

**Ключевые слова:** палеопочва, почва, лёсс, климат, плейстоцен, Восточно-Европейская равнина, Воронежская область.

Лёссово-почвенная формация (ЛПФ) – разнофациальное геологическое тело высокого таксономического ранга, представляющее собой зонально-климатическое образование плейстоцена [1]. Главными компонентами ЛПФ являются лёссовые породы и палеопочвы, по чередованию которых можно проследить изменения ландшафтно-климатической обстановки в прошлые эпохи [2 и др.]. На территории Восточно-Европейской равнины расположена самая обширная лёссовая область, где вскрываются разновозрастные плейстоценовые ЛПФ [3 и др.]. Исследование ЛПФ разреза Стрелица-2017, расположенного в Воронежской области, позволит понять, как изменялся почвенный покров от раннего плейстоцена до современной эпохи (голоцена) этой части Восточно-Европейской равнины.

Разрез Стрелица-2017 (N 51°37'15"; E 38°54'09") вскрыт в карьере вблизи д. Стрелица. Ранее ЛПФ в этом карьере изучали многие исследователи, такие как Величко А.А., Грищенко М.Н., Красенков Р.В., Болиховская Н.С., Цацкин А.И., Морозова Т.Д. и др. [4–6 и др.]. С учетом полученных ими результатов и опираясь на хроностратиграфическую схему, разработанную Величко А.А. с соавторами [7], в ЛПФ разреза Стрелица-2017 нами были выделены палеопочвенные комплексы (ПК): раннеплейстоценовый воронский, среднеплейстоценовые каменский и инжавинский, позднеплейстоценовый мезинский. Помимо ПК в разрезе четко выделяются интерстадиальные палеопочвы – брянская и роменская. Совокупность палеопочв, формировавшихся в разные фазы почвообразования – позднюю (интерстадиальная палеопочва) и раннюю (межледниковая палеопочва), разделенных лёссовым горизонтом, который во время почвообразования мог войти в состав профилей этих палеопочв, является палеопочвенным комплексом [8].

В 2017 году сотрудники Лаборатории эволюционной географии ИГРАН совместно с коллегами из Китайской Академии наук в рамках международного проекта РФФИ провели исследование лёссово-почвенного разреза Стрелица-2017. Во время полевых работ на разрезе были сделаны детальные измерения магнитной восприимчивости (МВ) при помощи портативного измерителя ZHInstruments SM-30. МВ измеряли вдоль разреза каждые 6 см, измерения проводились трижды для каждого уровня и затем рассчитывалось среднее значение. Лёссово-почвенные образцы на физико-химические анализы отбирались так же с частотой 6 см, только на уровне гумусового горизонта современной почвы был отобран один образец. В лаборатории Спорово-пыльцевого анализа и лазерной гранулометрии ИГРАН (<http://eg.igras.ru/spailg/>) образцы анализировались по следующим показателям: потери при прокаливании (ППП) в муфельной печи при температурах 550° и 950°, рН прибором HI 99121 в водном растворе (соотношении 1:2,5), гранулометрический состав на лазерном анализаторе Malvern Mastersizer 3000.

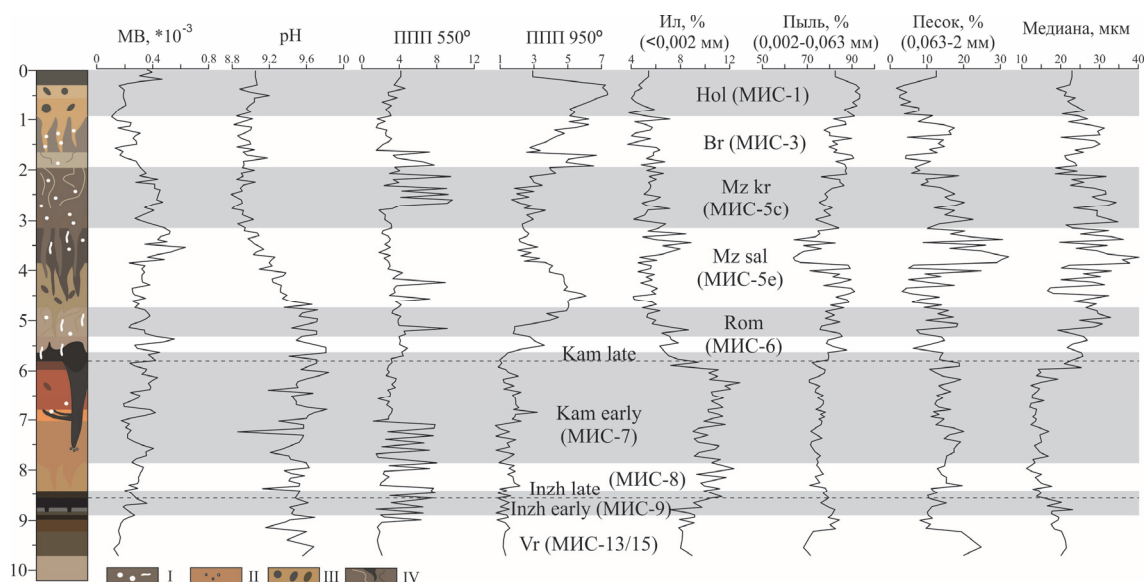


Рис. 1. Морфологическое строение и физико-химические свойства ЛПФ разреза Стрелица-2017:  
 I – новообразования карбонатов; II – линза грубого материала (песок, гравий);  
 III – кротовины разных размеров; IV – криогенные деформации (клинья, трещины и др.).  
 МИС – морская изотопная стадия. Другие сокращения приведены в тексте

На рис. 1 представлена колонка ЛПФ разреза Стрелица-2017 и ее физико-химические характеристики. Описание разреза начинается с современного антропогенно нарушенного чернозема типичного (на рис. 1 обозначается как Hol), в котором часть поверхностного гумусового горизонта снята карьерными работами. Профиль чернозема состоит из следующих горизонтов Атех.-Вк-ВСк, здесь обильны кротовины, заполненные гумусовым материалом. Под современной почвой залегает брянская (Br) интерстадиальная палеопочва (профиль А-ВСк). Ее гумусовый горизонт пронизан вертикальными клиновидными трещинами, заполненными бурым материалом из горизонта ВСк современной почвы. В трещинах есть включения карбонатных конкреций диаметром до 1 см и органики в виде мелких угольков. Ниже лежащий горизонт ВСк слабо затронут трещинами, в основном трещины плоские, заполнены гумусовым материалом из горизонта А – это палеопочвы.

Почвообразующей породой для брянской палеопочвы служит мощный (2,77 м) мезинский ПК (Mz), состоящий из двух палеопочв крутицкой (Mz kr) интерстадиальной и салынской (Mz sal) межледниковой. Профиль крутицкой палеопочвы состоит из гумусовых горизонтов А-АВк, пронизанных клиновидными трещинами из вышележащего слоя. Видны следы органики, редкие карбонатные конкреции, которые расположены в древних корнях. Межледниковая палеопочва представлена темно-бурым гумусовым горизонтом А и бурым горизонтом Вк, в котором четко выделяются кротовины диаметром 20x10 см. Карбонатные новообразования представлены обильными конкрециями и белесой присыпкой.

Ниже мезинского ПК была выделена роменская (Rom) интерстадиальная палеопочва бурого цвета с сизоватым оттенком (10YR 4/4 – цвет по шкале Манселла). Профиль палеопочвы разбит трещинами и сильно эродирован криогенными процессами. В нем выделяются два гумусированных горизонта Ак и АВк, карбонатные конкреции представлены в виде «белоглазок» в древних корнях. В горизонт АВк роменской палеопочвы снизу вклинивается деформированный гумусовый горизонт позднекаменской (Kam late) интерстадиальной палеопочвы. Эта палеопочва относится к каменскому ПК, мощность которого в разрезе составляет 2,81 м. Позднекаменская палеопочва состоит из одного гумусового горизонта Ак темно-серого цвета, в нем видны включения карбонатов, углей и Mn примазок. В раннекаменской (Kam early) межледниковой палеопочве профиль представлен несколькими горизонтами АВ-Вк-ВС1-ВС2-С, в которые вклинивается гумусированный криогенный клин, заполненный, скорее всего, материалом горизонта А этой палеопочвы. На уровне горизонта ВС1 от клина исходят гумусированные клинья в виде «усов». В горизонте ВС2 клин заканчивается, и под ним сформировалась линза округлой формы (диаметром ~ 10 см), заполненная грубым материалом (гравием, песком).

Следующий ПК, залегающий под каменским ПК, является инжавинским (Inzh), который состоит из позднеинжавинской (Inzh late) интерстадиальной и раннеинжавинской (Inzh early) межледниковой палеопочв. Позднеинжавинская палеопочва представлена в разрезе одним гумусированным горизонтом А, темно-серого цвета с включениями угля и Fe-Mn примазок, мощность его составляет 0,18 м. Раннеинжавинская межледниковая палеопочва представлена набором горизонтов А-Е-Vg, она имеет морфологически четко выраженный элювиальный горизонт светло-серого цвета (10YR 5/2) [9, 10]. Из горизонта А в горизонт Е проникают вертикальные трещины, заполненные гумусовым материалом, далее в горизонт Vg они не заходят.

Непосредственно под инжавинским ПК вскрыт воронский (Vr) ПК, который представлен тремя горизонтами АВ-В-Vg. Согласно хроностратиграфической схеме [7] этот ПК состоит из поздневоронской интерстадиальной и ранневоронской межледниковой палеопочв. В разрезе Стрелица-2017 палеопочва поздней фазы морфологически не выделяется, по всей видимости, учитывая полный набор горизонтов в профиле, палеопочву можно отнести к межледниковой. Почвообразующей породой для этой палеопочвы служат белесые флювиогляциальные пески, залегающие на красной донской морене.

Как показали наши предыдущие исследования, в ЛПФ [2] максимальные значения МВ приурочены в основном к уровням гумусированных горизонтов современных почв и палеопочв. В переходных и лёссовых горизонтах ее значения резко уменьшаются. На рисунке 1 в современной почве значения МВ в горизонте Атех. максимальны –  $0,477 \cdot 10^{-3}$ , далее ее значения в горизонтах Вк и ВСк уменьшаются до  $0,156 \cdot 10^{-3}$ . Вниз по разрезу высокие пики приурочены практически ко всем гумусированным горизонтам палеопочв, кроме роменской палеопочвы, где крупный пик выделен на уровне переходного горизонта. На уровне позднеинжавинской палеопочвы пик МВ в гумусированном горизонте не высокий, что, скорее всего, связано с влиянием вышележащего слоя.

Значения рН являются индикатором изменения климатической обстановки – щелочная среда почв характерна для засушливых регионов, кислая, в основном, приурочена к более влажному климату. На графике показано, что значения рН всего разреза варьируют в пределах 8,78–9,83. В современной почве щелочность среды постепенно увеличивается вниз, а пик начинается с уровня салынской межледниковой палеопочвы. Максимальные значения приурочены к раннекаменской межледниковой палеопочве, минимальные – к крутицкой интерстадиальной. Высокие значения рН в палеопочвах раннего и среднего плейстоцена, скорее всего, обусловлены аккумуляцией карбонатных и других щелочных минералов, вынесенных водным раствором из отложений позднего плейстоцена и современной почвы.

Потери при прокаливании показывают степень гумусированности ( $550^\circ$ ) и карбонатности ( $950^\circ$ ) горизонтов в ЛПФ разреза. На графике в современной почве значения ППП  $550^\circ$  в гумусовом горизонте выше, чем при температуре  $950^\circ$ , а в горизонтах Вк и ВСк значения прямо пропорциональны. Такую же тенденцию можно наблюдать вдоль всего разреза, кроме горизонта ВС2 раннекаменской межледниковой палеопочвы, где ППП  $550^\circ$  показали высокие значения, когда как горизонт не является гумусированным. Возможно, это отклонение связано с влиянием гумусированного клина.

Согласно данным гранулометрического анализа наиболее илистой палеопочвой является раннекаменская межледниковая, пылеватой – современная почва, а песчанистой – салынская межледниковая палеопочва. Высокие значения медианного размера частиц по разрезу приурочены к позднеплейстоценовым отложениям. Вышеизложенные факторы позволяют предположить, что раннеинжавинская палеопочва развивалась с участием процессов псевдоподзоливания и лессиважа с образованием элювиального горизонта, что характерно для дерново-подзолистых и подзолистых современных почв. Раннекаменскую палеопочву с высоким содержанием илистой фракции и насыщенными бурыми тонами можно отнести к отделу структурно-метаморфическому [11], возможно, к современным бурым почвам или буроземам темным. Палеопочвы мощного, гумусово-карбонатного мезинского ПК развивались по черноземовидному типу почвообразования. Ранневоронскую палеопочву можно отнести к бурой слабо оглееной. Для интерстадиальных палеопочв ПК характерен гумусово-аккумулятивный процесс и маломощный профиль, что свой-

ственно для слабообразованных черноземовидных современных почв. Брянская и роменская палеопочвы являются гумусово-карбонатными оглееными почвами, их можно отнести к отделу палео-метаморфическим современным почвам, тип – палеовые темногумусовые [11].

Таким образом, почвенный покров в раннем и среднем плейстоцене в межледниковые периоды развивался в более влажных условиях, чем в позднем плейстоцене и современную эпоху. Исследования ЛПФ позволили реконструировать почвенный покров в плейстоцене и проследить в каких климатических условиях он формировался.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-55-53035 и по теме Госзадания № 0148-2018-0002 (программа ФНИ, раздел 127; НИ-ОКТР № 01201352492).*

### Литература

1. Болиховская Н.С. Эволюция лёссово-почвенной формации Северной Евразии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 270 с.
2. Panin P.G., Timireva S.N., Morozova T.D., Kononov Yu.M., Velichko A.A. Morphology and micro-morphology of the loess-paleosol sequences in the south of the East European plain (MIS 1–MIS 17) // *Catena*. 2018. № 168. P. 79–101.
3. Величко А.А., Морозова Т.Д., Грибченко Ю.Н., Нечаев В.П., Тимирева С.Н. Глава 2. Лессовый покров // *Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130000 лет. Атлас-монография «Развитие ландшафтов и климата Северной Евразии. Поздний плейстоцен – голоцен – элементы прогноза»*. Вып. II: Общая палеогеография / под ред. проф. А.А. Величко. М.: ГЕОС. 2002. С. 23–37.
4. Цацкин А.И., Чижикова Н.П. О почвообразовании в плейстоцене в бассейне Верхнего Дона по микроморфологическим и минералогическим данным // *Почвоведение*. 1990. № 12. С. 94–106.
5. Velichko A.A., Morozova T.D., Nechaev V.P., Rutter N.W., Dlusskii K.G., Little E.C., Catto N.R., Semenov V.V., Evans M.E. Loess/paleosol/cryogenic formation and structure near the northern limit of loess deposition, East European Plain, Russia // *Quaternary International*. 2006. № 152–153. P. 14–30.
6. Bolikhovskaya N.S., Molodkov A.N. East European loess-palaeosol sequences: Palynology, stratigraphy and correlation // *Quaternary International*. 2006. № 149. P. 24–36.
7. Величко А.А., Морозова Т.Д. Глава 10. Основные черты почвообразования в плейстоцене на Восточно-Европейской равнине и их палеогеографическая интерпретация // *Эволюция почв и почвенного покрова*. Отв. ред. В.Н. Кудеяров, И.В. Иванов. М.: ГЕОС, 2015. С. 321–337.
8. Величко А.А., Морозова Т.Д., Панин П.Г. Почвенные полигенетические комплексы как системный феномен плейстоценовых макроциклов // *Известия РАН, Серия географическая*. № 2. 2007. С. 44–54.
9. Панин П.Г. Особенности строения межледниковых и интерстадиальных почвенных комплексов позднего и среднего плейстоцена центра Восточно-Европейской равнины // *Почвоведение*. 2007. № 2. С. 145–159.
10. Чижикова Н.П., Морозова Т.Д., Панин П.Г. Минералогический состав тонкодисперсной части и микроморфология палеопочв и лёссов позднего и среднего плейстоцена центра Восточно-Европейской равнины // *Почвоведение*. 2007. № 12. С. 1500–1512.
11. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена. 2004. 342 с.

### MORPHOLOGICAL STRUCTURE AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF THE LOESS-SOIL FORMATION OF THE STRELITSA-2017 SECTION

P.G. Panin<sup>1</sup>, Sh. Yang<sup>2</sup>, S.N. Timireva<sup>1</sup>, P.I. Kalinin<sup>1,3</sup>, Yu.M. Kononov<sup>1</sup>, K.G. Filippova<sup>1</sup>, E.A. Konstantinov<sup>1</sup>, E.O. Mukhametshina<sup>1</sup>, V. Zhiang<sup>2</sup>, L. Guo<sup>2</sup>, P.R. Nazarov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geography RAS, Moscow, ppanin@igras.ru

<sup>2</sup> Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing

<sup>3</sup> Institute of Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science RAS, Pushchino

**Summary.** *The article deals with the structure of the loess-soil formation of the Strelitsa-2017 section (Voronezh Region). The result of this work is the reconstruction of the soil cover in the Late, Middle and Early Pleistocene. It was discovered that the Early and Middle Pleistocene interglacial paleosols developed in more humid conditions than the late Pleistocene and modern soils.*

**Keywords:** *paleosol, soil, loess, climate, Pleistocene, East European Plain, Voronezh Region.*

## ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ В РАЗРАБОТКЕ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПОЧВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Е.Г. Пивоварова, К.С. Вепрынцева

Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, pilegri@mai.ru

**Аннотация.** Предложен подход к обоснованию «центральных образов» почв подзоны засушливой степени Алтайского края, определен таксономического вес признаков с использованием информационно-логического анализа. Разработана математическая модель зональных эталонов исследуемых почв. Полученные результаты могут служить не только для диагностики почв, но и для мониторинга за их состоянием.

**Ключевые слова:** классификация почв, центральный образ, таксономический вес признаков, математическая модель таксона.

**Введение.** В литературе вокруг вопроса о почвенной классификации множество дискуссий [1]. Большинство почвенных классификаций основано на генетическом подходе [2–5]. А.И. Соколов [6] признавая, что ни одна из классификаций не способна объединить в себе все стороны такого сложного явления как почва, сформулировал идею о базовой классификации, построенной на современных теоретических представлениях о генезисе и свойствах почв. Проблема заключается даже не в принципах классификации, а в том, как диагностировать реальные почвы по этим классификациям. К недостаткам современных классификаций чаще всего относят недостаточность количественных параметров диагностики почв по разным таксономическим уровням [7–8]. Наибольшую трудность представляют почвы переходных групп (подтипов), так называемые «классификационные соседи». Для объективной диагностики нужны количественные критерии, и их диапазон может быть очень широким, если его не ограничить региональными или провинциальными рамками. Разработка региональных эталонов должна дополнять и конкретизировать базовую классификацию почв [9]. По мнению В.А. Рожкова [1] наиболее объективным для этих целей является математический подход.

В представленной работе сделана попытка обоснования так называемых «центральных образов» региональных почв, т.е. разработки количественных параметров диагностики региональных эталонов с помощью информационно-логического анализа. В принципе данный подход применим к любой классификации.

**Методы и подходы исследований.** Согласно почвенно-географическому районированию на территории Алтайского края выделено 7 зон и 44 почвенных района, для каждого из которых необходима обоснование собственных центральных образов почв (эталонов). Данная задача решалась нами на примере 8 почвенного района – черноземов южных малогумусных среднетощих подзоны засушливой степи.

На основе материалов крупномасштабного почвенного обследования АлтайНИИГипрозем за 1983–1985 гг. был осуществлен информационный анализ связей между диагностическими свойствами почв и основными таксономическими группами почв засушливой степи (выборка 390 объектов): черноземами южными, черноземно-луговыми; лугово-черноземными и луговыми. По величине коэффициента передачи информации (Кэфф) определялся таксономический вес каждого признака, поскольку он отражает степень связи между фактором и явлением [10]. Для каждого центрального образа (таксона) были рассчитаны специфичные (наиболее вероятные) состояния признаков (генетически обусловленных свойств почв). Набор этих параметров позволяет дать количественную характеристику таксона (типа или подтипа).

Оценку таксономического веса признаков проводили по следующим свойствам в горизонтах А пахотный и (А+АВ) подпахотный: мощность гумусового горизонта (М, см); общее содержание гумуса, %; рН водная; содержание подвижного фосфора и калия, мг/100 почвы; содержание валового азота, %; обменно-поглощенные кальций и магний, мг-экв/100 г; гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г почвы; содержание фракций ила и физической глины.

**Результаты и обсуждения.** Для того чтобы качественные признаки (таксономические группы почв) перевести в количественные, почвы были выстроены в генетически сопряженный ряд, отражающий интенсивность основного почвообразовательного процесса в соответствии с номером ранга. В естественных почвах это нарастание дернового процесса. При разработке центральных образцов зональных почв в качестве функции (зависимой величины) выступают основные физико-химические свойства почв. Результаты информационного анализа показали, что в целом таксономические признаки в почвах исследуемого района имеют невысокий таксономический вес. Возможно, это обусловлено тем, что почвы данного района (черноземы и их гидроморфные аналоги) слабо отличаются по морфологическим и физико-химическим свойствам (табл. 1). Кроме того, отмечается высокая вариация признаков внутри одного таксона, о чем свидетельствует величина неопределенности  $H(A_i/b_j)$ . Наибольший таксономический вес имеют следующие диагностические признаки: рНв в горизонте Апах (0,1415), сумма обменных оснований и содержание обменного калия в горизонте АВ подпах, (0,1056 и 0,0944, соответственно). Значительно ниже таксономический вес таких диагностических свойств, как содержание фракции физической глины в горизонте Апах (0,0647) и ила (0,0566–0,0533), содержание гумуса в горизонте Апах (0,0470), содержание валового азота (0,0413–0,0456).

Т а б л и ц а 1

**Коэффициенты эффективности передачи информации таксономических признаков**

Свойство	Горизонт	
	Апах	(А+АВ)подпах
Мощность, А+АВ, см	0,0224	
Содержание фракций < 0,01, %	0,0647	0,0396
Содержание фракций < 0,001, %	0,0566	0,0533
рНв, %	0,1415	0,0823
Содержание гумуса, %	0,0470	0,0372
Сумма поглощенных оснований, мг/-экв/100 г	0,0467	0,1056
Содержание обменного К <sub>2</sub> О, мг/100 г почвы	0,0480	0,0944
Содержание подвижного Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> , мг/100 г почвы	0,0957	0,1147
Содержание валового азота, %	0,0413	0,0456

В целом, закономерности заключаются в следующем: некоторые признаки (сумма поглощенных оснований и содержание обменного калия и подвижного фосфора) имеют более высокий таксономический вес в подпахотном горизонте, чем в пахотном. Это объясняется тем, что пахотный горизонт в результате гомогенизации под действием с-х использования утратил отличительные особенности между данными таксономическими группами. Самый высокий таксономический вес признака у рНв, что обусловлено степенью гидроморфности почв исследуемого ряда. В автоморфных почвах (черноземах южных) величину рНв определяет степень выщелоченности от карбонатов, а в профиле гидроморфных почв (лугово-черноземных, черноземно-луговых и луговых) высоко минерализованные грунтовые воды оказывают значимое влияние на содержание солей и величину рНв. Несмотря на то, что в черноземных почвах дифференциации по гранулометрическому составу не происходит, в пахотном горизонте таксономический вес по содержанию физической глины выше, чем в подпахотном. Возможно, это обусловлено геохимической приуроченностью гидроморфных почв к аккумулятивным и транс-супераквальным ландшафтам и эрозионной аккумуляцией физической глины в верхней части профиля.

Информационный анализ позволил также определить специфичные (наиболее вероятные) состояния свойств для каждой таксономической группы исследуемых почв (табл. 2). Набор этих свойств может служить центральным образом определенного таксономического типа (подтипа) для почв данного региона (региональный эталон). Так, для чернозема южного, таким эталоном является почва, которая характеризуется мощностью (А+АВ) 30–40 см (2–3 ранг); суммой поглощенных оснований 15,0–25,0 мг.экв/100 г (2–3 ранг); содержанием гумуса в горизонте Апах 2,5–3,5% (3–4 ранг) и менее 2,5% (1–2 ранг) в подпахотном горизонте АВ; содержанием валового азота 0,1–0,2% (2–3 ранг), как а пахотном, так и подпахотном горизонтах; содержанием подвижного фосфора Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> в горизонте Апах 15,0–25,0 мг/100 г (3–4 ранг) и 15,0–20,0 мг/100 г (3 ранг) в подпахотном горизонте; обменного калия К<sub>2</sub>О 20,0–30,0 мг/100 г (3 ранг) в горизонте Апах и менее 20,0 мг/100 г (1–2 ранг) в подпахотном.

## Количественная характеристика центральных образцов почв подзоны засушливой степи

Таксономический признак	Почвы									
	ЧЮ		ЧЛ		ЛЧ		Л			
	Апах	(А+АВ)подпах	Апах	(А+АВ)подпах	Апах	(А+АВ)подпах	Апах	(А+АВ)подпах	Апах	(А+АВ)подпах
Мощность гумусового горизонта, см	–	30–40 (2–3)	–	>40 (4–5)	–	30,0–40,0(3)	–	–	–	<30(1)
Содержание физической глины, %	20–40 (2–3)	20–40 (2–3)	>30 (3–4)	>30 (3–4)	<30 (1–2)	<20 (1)	<30 (1–2)	<30 (1–2)	<30 (1–2)	<30 (1–2)
Содержание ила, %	<20 (1–2)	15–25 (2–3)	15,0–25,0 (2–3)	20,0–25,0 (3)	<15 (1)	<15 (1)	<15 (1)	<15 (1)	<15 (1)	<15 (1)
pHв	7,0–7,5 (2)	7,0–7,5 (2)	<7,5 (1–2)	<7,5 (1–2)	7,5–8,0 (3)	>8,5 (5)	>8,0 (4–5)	>8,0 (4–5)	>8,0 (4–5)	>8,0 (4–5)
Содержание гумуса, %	2,5–3,5 (3–4)	<2,5(1–2)	3,0–3,5 (4)	<2,0 (1)	>3,5 (5)	<2,0 (1)	2,0–2,5 (2)	<2,0 (1)	<2,0 (1)	<2,0 (1)
Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100г	15–25 (2–3)	15–25 (2–3)	15,0–20,0 (2)	15–20 (2)	>20 (3–4)	<20 (1–2)	<15 (1)	<15 (1)	<15 (1)	<15 (1)
Содержание обменного калия, мг/100г	20–30 (3)	<20 (1–2)	>30 (4–5)	20,0–40,0 (3–4)	10,0–20,0 (2)	<10 (1)	<20* (1–2)	<10* (1)	<10* (1)	<10* (1)
Содержание подвижного фосфора, мг/100г	15–25 (3–4)	15–20 (3)	15–20 (3)	15–20 (3)	10–15 (2)	10–20 (2–3)	<10* (1)	<10* (1)	<10* (1)	<10* (1)
Содержание валового азота, %	0,10–0,20 (2–3)	0,10–0,20(2–3)	0,20–0,25 (4)	0,10–0,20 (2–3)	0,10–0,20 (2–3)	<0,10 (1)	>0,25 (5)	>0,25 (5)	>0,25 (5)	<0,15 (1–2)

Примечание. \* – по методу Мачигина, остальные – по методу Чирикова; ЧЮ – черноземы южные; ЧЛ – лугово-черноземные, ЛЧ – черноземно-луговые, Л – луговые почвы.



Для большинства свойств специфичным является аккумулятивный характер распределения в верхних горизонтах. Аналогичным образом можно дать характеристику каждому этапу, а именно лугово-черноземной, черноземно-луговой и луговой почве.

Разработка информационно-логической модели регионального эталона для исследуемого почвенного района основана на сопоставлении коэффициентов эффективности передачи информации (*Кэфф*), специфичных состояний (*С*) и информативности (*Ј*), на основе которых распознаются функции многозначной логики – конъюнкции, дизъюнкции и нелинейного произведения (Пузаченко, 1970).

Эти функции позволяют определить действие и взаимодействие равных по силе факторов на изучаемое явление (таксономическую группу – тип, подтип). Чем больше коэффициент *Кэфф* тем, более значимый фактор, в информационной модели эти факторы стоят на более близких к знаку равенства позициях. Оптимизация полученной модели производилась опытным путем, а именно исключением наименее значимых признаков, без потери прогнозирующей способности модели. Таким, образом, конечная версия модели зонального таксона исследуемых почв для профилно-генетической классификации СССР (1977) года имеет следующий вид:

$$ТП = p_{H_в}^A \boxtimes P_2O_5^{AB} \boxtimes (S^{AB} \wedge (K_2O^{AB} \boxtimes P_2O_5^A \boxtimes p_{H_в}^{AB}))$$

где ТП – ранг типа почвы; S, pH<sub>в</sub>, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, – ранг типа (подтипа) почвы в зависимости от содержания суммы поглощенных оснований, реакции водной вытяжки, содержания подвижного калия, содержания подвижного фосфора, в горизонтах Апах, АВ соответственно.  $\boxtimes$  – знак логической функции нелинейного произведения;  $\wedge$  – знак логической функции дизъюнкции.

Т а б л и ц а 3

**Специфичные состояния центральных образцов почв засушливой степи в зависимости от таксономических признаков**

Фактор (таксономический признак)	Состояние фактора	Состояние функции (Тип, подтип почвы, ранг)			
		горизонт Апах		горизонт (А+АВ) подпах	
рН <sub>в</sub>	<7,0	ЧЛ	2	ЧЛ, ЛЧ	2-3
	7,0–7,5	Ч <sup>Ю</sup>	1	Ч <sup>Ю</sup>	1
	7,5–8,0	ЛЧ	3	ЧЛ	2
	8,0–8,5	Л	4	Л	4
	>8,5	Л	4	Л	4
Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100г (S)	<15	Л	4	Л	4
	15–20	Ч <sup>Ю</sup>	1	ЧЛ, ЛЧ	2-3
	20–25	ЛЧ	3	Ч <sup>Ю</sup>	1
	>25	Ч <sup>Ю</sup>	1	Ч <sup>Ю</sup>	1
Содержание обменного калия, мг/100г(K <sub>2</sub> O)	<10	Л	4	ЛЧ, Л	3-4
	10–20	ЛЧ, Л	3-4	Ч <sup>Ю</sup>	1
	20–30	Ч <sup>Ю</sup>	1	ЧЛ	2
	30–40	ЧЛ	2	ЧЛ, ЛЧ	2-3
	>40	ЧЛ, ЛЧ	2-3	ЧЛ	2
Содержание подвижного фосфора, мг/100г(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	<10	Л	4	Л	4
	10–15	ЛЧ	3	ЛЧ	3
	15–20	ЧЛ	2	ЧЛ	2
	20–25	Ч <sup>Ю</sup>	1	Ч <sup>Ю</sup> , ЧЛ	1-2
	>25	Ч <sup>Ю</sup>	1	ЧЛ	2

Примечание. Ч<sup>Ю</sup> – чернозем южный; ЧЛ – лугово-черноземная; ЛЧ – черноземно-луговая; Л – луговая почвы.

Для диагностики реальных почв необходимо, метрические значения свойств перевести в ранговые, используя специфичные состояния таксономических единиц (табл. 3) и подставить в формулу, результат округляется до целого ранга, которому и соответствует определяемая почва. Безошибочный прогноз полученной модели составляет 53%, а с ошибкой в один ранг прогнозирующая способность модели увеличивается до 93%. Достоверность модели оцени-

валась с помощью параметрических критериев. Поскольку фактическое значение критерия Стьюдента (0,58) меньше, чем теоретическое (1,67) – нулевая гипотеза не опровергается и это значит, что различия между фактическими и расчетными значениями несущественны. Коэффициент корреляции между прогнозными и фактическими ранговыми значениями определяемых почв равен 0,67, что также свидетельствует об их существенной корреляции.

**Заключение.** Полученная информационно-логическая модель зональных почв засушливой степи Алтайского края может использоваться не только для объективного определения «центральных образов» классификационных соседей (диагностики черноземов южных, лугово-черноземных, черно-земно-луговых и луговых почв), но и для мониторинга за современным состоянием почв исследуемой подзоны и его изменением под антропогенным воздействием.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-44-220003 и Минобрнауки Алтайского края.*

### Литература

1. Рожков В.А. Классификация почв – не место для дискуссий // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 72. С. 47–64.
2. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
3. Классификация почв России / сост. Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.Н. Лебедева. М., 2000. 235 с.
4. Soil Taxonomy: USDA. Agric. Handbook. Washington, 1975. № 436.
5. Фридланд В.М. Основные принципы и элементы базовой классификации почв и программа работы по ее созданию. М., 1982. 149 с.
6. Соколов И. А. О базовой классификации почв // Почвоведение. 1978. № 8. С. 113–123.
7. Добровольский Г.В., Трофимов С.Я. Систематика и классификация почв (История и современное состояние). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 78 с.
8. Шишов Л.Л., Лебедева И.И., Тонконогов В.Д. Классификация почв России и перспективы ее развития // Почвоведение: история, социология, методология. Памятиоснователя теоретического почвоведения В.В. Докучаева. М.: Наука, 2005. С. 272–279.
9. Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск, 2004. 296 с.
10. Пузаченко Ю.Г., Карпачевский Л.О., Взнуздаев Н.А. Возможности применения информационно-логического анализа при изучении почвы на примере ее влажности // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. М.: Наука, 1970. С. 103–121.

### NUMERICAL METHODS IN DEVELOPMENT OF THE CENTRAL IMAGES OF REGIONAL SOILS OF ALTAI KRAI

E.G. Pivovarova, K.S. Vepryntseva

Altai state agricultural university, Barnaul

**Summary.** *Has been offered mathematical approach to identification of "the central images" of soils of a subzone of the droughty steppe of Altai Krai. The objective of this study is to estimate taxonomic weight of soil properties and to identify their specific conditions for zonal soils by use of the informative-logical analysis. On the base of the obtained data has been developed the mathematical model of zone standards of the explored soils. The received model can serve not only for diagnostics of soils, but also for monitoring of their current state.*

**Keywords:** *soil classification, taxonomic weight of properties, mathematical model of a zonal soil.*

## СОСТОЯНИЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ

О.В. Полохин

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,  
o.polokhin@mail.ru

**Аннотация.** *Анализируется ситуация с проведением рекультивационных работ по восстановлению техногенных ландшафтов горнодобывающей промышленности в Приморском крае. Показаны, что в Приморском крае фактически отсутствует рекультивация нарушенных территорий. Отмечено, что необходима корректировка Проекта Постановления Правительства Российской Федерации «Об утверждении положения о порядке проведения рекультивации и консервации земель».*

**Ключевые слова:** *рекультивация, техногенный ландшафт, Приморский край.*

Земельный фонд Приморского края составляет 16467,3 тыс. га. В распределении земель по категориям наибольшая доля принадлежит землям лесного фонда 12045,8 тыс. га (73,15%). Земли промышленности и иного назначения составляют 2,3%. При распределении земель Приморского края по угодья сельскохозяйственные угодья занимают 1649,4 тыс. га (10%), лесные земли и лесные насаждения, не входящие в лесной фонд составляют 81,6%. Нарушенные земли среди угодий Приморского края занимают 16,8 тыс. га (0,1%). Большая часть из этих угодий принадлежит землям промышленности, в частности, горнодобывающим предприятиям. На первый взгляд это совершенно несущественная цифра для земельных угодий края. Однако, хорошо известно, что залежи угля (в Приморском крае в основном бурого угля) находятся под наиболее плодородными почвами. При добыче полезных ископаемых земли отчуждаются и по окончании работ отработанные земли должны быть возвращены в состоянии пригодном для их дальнейшего использования в соответствии с предполагаемым целевым назначением. Для этого должны быть проведены рекультивационные мероприятия. Если до 90-х годов прошлого века горнодобывающие предприятия планомерно и массово проводили необходимые рекультивационные мероприятия, широко сотрудничали с научными учреждениями, поддерживали опытные участки с различными видами трав, кустарников и древесных культур, то в последние годы мы наблюдаем снижение объемов рекультивационных работ (таблица). Согласно ежегодной форме 2-ТП (рекультивация) предоставляемой природопользователями на территории Приморского края рекультивация фактически не ведется. По этим показателям край существенно отстает в сравнении с ДФО и РФ в целом. По результатам наших наблюдений фактическая площадь нарушенных земель на территории Приморского края при открытой добыче бурого угля превышает данные в отчетах. Имеют место проблемы, связанные с выполнением своевременной реабилитации земель, нарушенных открытыми горными работами. Применяемые технологии рекультивации имеют низкий уровень наукоемкости и экологической эффективности. Разрабатываемые проекты не учитывают индивидуальную специфику техногенных объектов и экономической целесообразности проведения рекультивационных работ. На ранее рекультивированных участках не ведется работ по уходу за высаженными культурами [1, 2]. Ретроспективный анализ проведенной биологической рекультивации в Приморском крае показал следующее: отпад саженцев сосны (интродуцент для данной территории) на Павловском разрезе до 98%. По сообщению Саранчук А.П. на Лучегорском углеразрезе в 1986 году были произведены посадки облепихи крушиновидной, тополя максимовича, сосны обыкновенной, ясеня манчжурского и клена приречного, посев травосмесей и внесение бактерий-мелиорантов с нанесением ПСП. Установлено, что сохранность сосны на 2015 год менее 30%, облепихи 10–15%, тополя 52%, ясеня 15–19%.

Ежегодно увеличивается количество нарушенных земель в Приморском крае связанное с работой горнодобывающей промышленности. В 2015 году был открыт новый угольный раз-

рез месторождения «Адамсовский» в Надежденском районе. Это совместный российско-китайский проект компаний ООО «Рубикон» (Россия) и ООО «Хуафэнь» (КНР). Не менее 60% добываемого угля должно уходит в Китай. Все изыскательские работы выполнялись китайскими специалистами без привлечения российских специалистов.

В 2017 г. был открыт Разрез «Некковый» АО «Приморскуголь» (СУЭК) по добыче открытым способом каменного угля. Разрез занимает площадь 5,67 км<sup>2</sup> Липовецкого каменноугольного месторождения. Ранее уголь добывался на этом месторождении подземным способом, но из-за нерентабельности шахты были закрыты. Рекультивационные работы на отработанных землях не проводились.

**Количество нарушенных, отработанных и рекультивированных земель в связи с не сельскохозяйственной деятельностью, га**

	2012 год	2013 год	2014 год	2015 год	2016 год	2017 год
Российская Федерация						
Нарушено(всего), га	471740,9	723320,2	892668,1	873491,9	1331097,3	1242416,3
Нарушено за год, га	109725,8	137125,9	152722,4	136232,4	178464,0	256242,2
Отработано из общей площади НЗ за год, га	89486,5	81524,3	99448,1	97608,4	111387,5	173761,5
Рекультивировано за год, га	75597,7 (1,6%)	74651,4 (10,3%)	84388,5 (9,5%)	86552,4 (9,9%)	92051,8 (6,9%)	98672,9 (7,9%)
ДФО						
Нарушено(всего), га	33337,9	80221,7	99752,6	120265,7	443882,7	141661,2
Нарушено за год, га	6037,6	16941,8	22182,5	22249,74	33123,51	36312,27
Отработано из общей площади НЗ за год, га	4535,7	13675,9	15203,9	24183,58	16162,25	20936,3
Рекультивировано за год, га	12301,2 (36,9%)	12405,2 (15,5%)	13473,7 (13,5%)	15732,3 (13,8%)	10886,5 (2,5%)	20713,0 (14,6%)
Приморский край						
Нарушено(всего), га	4650,7	6836,5	7378,1	8152,2	8312,5	4772,5
Нарушено за год, га	117,7	300,1	255,6	129,3	210,4	91,5
Отработано из общей площади НЗ за год, га	10,0	24,36	189,1	8,0	37,6	22,1
Рекультивировано за год, га	10,0 (0,2%)	364,1 (5,3%)	318,6 (4,3%)	83,64 (1,03%)	45,6 (0,5%)	14,5 (0,3%)

\* По данным Росприроднадзора.

В 2017 году был принят Проект Постановления Правительства Российской Федерации «Об утверждении положения о порядке проведения рекультивации и консервации земель» (подготовлен Минприроды России 26.05.2017) (Пояснительная записка к проекту Постановления Правительства Российской Федерации «Об утверждении положения о порядке проведения рекультивации и консервации земель» (подготовлен Минприроды России 26.05.2017) (не действует), Досье на проект Постановления Правительства Российской Федерации «Об утверждении положения о порядке проведения рекультивации и консервации земель» (ID проекта 02/07/05-17/00066675, подготовлен Минприроды России 26.05.2017) (принят)). Данное Положение должно заменить постановление Правительства Российской Федерации от 23 февраля 1994 г. N 140 «О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы» (Собрание актов Президента и Правительства Российской Федерации, 1994, N 10, ст. 779), постановление Правительства Российской Федерации от 2 октября 2002 г. N 830 «Об утверждении Положения о порядке консервации земель с изъятием их из оборота» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2002, N 47, ст. 4676).

При рассмотрении Положения оказалось, что в нем не нашли отражения неоднократно высказанные и опубликованные предложения ученых о создании ликвидационных (залоговых) фондов для восстановления нарушенных земель после завершения эксплуатации горнодобывающих предприятий. Положения, разработанные Институтом почвоведения и агрохимии СО РАН (разработчики Курачев В.М., Андроханов В.А.) [3] по обоснованию выбора

почвенно-экологических параметров, необходимых для объективной оценки эффективности рекультивационных мероприятий также не нашли своего отражения в Положении. По-прежнему, при составлении Проектов рекультивации действия разработчиков должны опираться на существующие экологические, санитарно-гигиенические, строительные, лесохозяйственные и другие нормативы и стандарты, что ведет, как неоднократно было отмечено учеными и практиками, к невозможности проведения рекультивационных работ по новым более эффективным методикам. Необходима корректировка данного Положения с учетом предлагаемых учеными предложений.

### Литература

1. Полохин О.В. Принципы, задачи и методы диагностики экологического и хозяйственного состояния нарушенных экосистем дальневосточного региона России // Современные исследования в естественных науках: материалы II Международной научной конференции. Владивосток, 2015. С. 194–198.
2. Polokhin O.V., Purtova L.N., Semal V.A., Sibirina L.A., Klyshevskaya S.V. Specifics of soil forming and vegetation restoration of man-made landscapes of the south of the Far East of Russia // Life Science Journal. 2014. Vol. 11, № 12s. P. 438–441.
3. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка / В.А. Андрюханов, В.М. Курачев; отв. ред. А.И. Сысо. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.

### THE STATE OF RECLAMATION OF MAN-MADE LANDSCAPES IN THE PRIMORSKY TERRITORY

O.V. Polokhin

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok, o.polokhin@mail.ru

**Summary.** *The situation with the implementation of remediation works to restore man-made landscapes of the mining industry in the Primorsky Territory was analyzed. It is shown that in Primorsky Territory there is actually no recultivation of disturbed territories. It was noted that the Draft Decree of the Government of the Russian Federation "On Approval of the Regulations on the Procedure for Reclamation and Conservation Practice" is to be amended.*

**Keywords:** *reclamation, man-made landscapes, Primorsky Territory.*

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ И ПОЧВ ЛЕСОСТЕПИ В ГОЛОЦЕНЕ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЧЕРНОЗЕМЬЕ И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В.Е. Приходько

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, valprikhodko@rambler.ru

**Аннотация.** Показана динамика почв, ландшафтов и климата лесостепей в голоцене на основе обобщения палинологических и почвенных данных. Развитие лесов и маломощных почв началось в начале бореального периода. В течение голоцена продолжалась колебательная динамика границ леса, степи и почв в соответствии с изменениями климата, которые были метахронны в разных регионах. В субатлантике происходит антропогенное сведение и насаждение лесов и расширение степей.

**Ключевые слова:** погребенные почвы, палинологический анализ, геоархивы, климат.

Междисциплинарное исследование погребенных почв археологических памятников и в отложениях озер и болот дают ценную информацию об эволюции компонентов природной среды, хозяйственной деятельности человека и взаимодействии человека и окружающей среды в различные хроносрезы обитания древних сообществ.

Целью работы было обобщение данных для дополнения имеющихся схем эволюции почв, смен ландшафтных зон, сукцессий в соответствии с динамикой климата в голоцене в лесостепной зоне.

### Изменения ландшафтов и климата Центрального Черноземья в голоцене

**В позднеледниковье** на протяжении 14–10 тыс. л. н. господствовали сосновые леса, в среднем дриасе к ним добавилась ель (до 20%), во вторую половину аллереда отмечено появление теплолюбивых липы и дуба, в позднем дриасе остались боры с редким включением березы, доминировали травянистые биоценозы [1–4].

Выявлено, что период 11,3–12 тыс. л. н. широколиственные виды могли сохраняться в рефугиумах, которые распространялись почти по всему региону, и содержание их пыльцы составляло до 5%. Это показано на основе обобщения данные по пыльце широколиственных видов для 314 участков Восточной Европы. В пребореале и бореале с потеплением в три раза увеличилось число мест их встречаемости и количество их пыльцы в пробах. В атлантическом и суббореальном периодах ареал широколиственных лесов и плотность их местонахождений была максимальной в голоцене. В субатлантике контуры распространения эдификаторов широколиственных лесов сохранились, но южная их граница сдвинулась на 200–400 км к северу, северная – на 300–700 км к югу, лесной тип растительности в этих ареалах сменился степным и полупустынным [5].

**В пребореальный период** (10,2–9,5 тыс. л. н.) начали локально распространяться березо-сосновые леса с единичными широколиственными породами – вязом, осиной, ольхой (табл.). На первой его этапе как примесь встречалась ель, на втором – дуб и липа [3]. Разнотравно-луговые и злаковые ассоциации главенствовали в данный период (таблица).

**В течение бореального периода** (9,5–8,0 тыс. л. н.) с потеплением климата сосна и береза с примесью ели (до 6%) доминировали в ландшафте, который в дальнейшем обогащался за счет пыльцы ольхи, вяза, осины. В период 9–8,3 тыс. л. н. к ним постепенно прибавлялся ареал дуба и лещины, расширялся их состав, на заключительных этапах бореала появились ясень и клен [6, 4]. Среди травянистой растительности по мере улучшения природных условий в бореале распространяются злаково-разнотравные биоценозы, обогащающиеся составляющими влажных и пойменных лугов.

В поздние этапы бореала выявлено большое количество пыльцы семейства маревых из рода солянковых *Salsola soda* L. Локусами их произрастания служат засоленные луга или

карбонатные породы. Их появление может быть обусловлено резкой, но непродолжительной аридизацией климата [6].

На климатических кривых Н.А. Хотинского (1989) [2] данный этап проявляется 8,3–8 тыс. л. н. В Западной Европе бореальное потепление сопровождалось иссушением, о чем свидетельствуют значительное понижение уровня озер в ее центральной части, на юге Швеции и Финляндии. Холодный эпизод около 8,2 тыс. л. н., продолжавшийся ~160 лет в Северной Европе, вызвавший снижение температуры воздуха на 1–2°C, не проявлялся в Восточной Европе южнее 70° с. ш. (по анализу 5 пыльцевых диаграмм) [7].

**Атлантический период** (8–4,5 тыс. л. н.). В его начале продолжалось увеличение тепло- и влагообеспеченности, что способствовало расширению ареалов дубовых лесов, распространению в их составе ольхи, осины, вяза и липы, постепенно дубравы развивались в многоярусные структуры. Середина атлантика характеризовалась оптимальным соотношением тепла и влаги, на что указывает распространение дубрав сложного состава и максимальное за весь голоцен обилие пыльцы липы. Эти леса распространялись от Беларуси до р. Волга в пределах 50–52° с. ш. [11]. Площадь боровых ценокомплексов, в составе которых было много березы и можжевельника, сократилась, очевидно, за счет их исчезновения на водоразделах. Тогда как боры остались в пониженных формах рельефа.

#### Характеристика климата голоцена Центрального Черноземья

Время, т. л. н.	Gerasimenko 1997 [8]	Кременецкий, 1991 [10]	Спиридонова, 1991 [3]		Трегуб, 2008 [6]		
РВ-1 10,3-9,5	влажно очень холодно	9,9, 9,7 тепло 9,8, 9,6 холод	10,2-9,5	влажно очень холодно		влажно оч. холодно	Д – луговые,злак. степи, сосна-береза, Ед. – ель
РВ-2; 9,5-9	отн. сухо холодно		9,5-8		9,5-8		-"-. Ед – вяз, осина, ольха
ВО-1 9-8,4	влажно холодно	8,9, 8,5 тепло 8,7 холод	9-8,3	влажно тепло, лесостепь	9-8,5	влажно холодно	Д – береза-сосна разнотравно- злаковые, Л – дуб
ВО-2 8,4-8	сухо холодно	8,3 тепло 8,4, 8,2 холодно	8,3-8	сухо холодно		холодно	-"-, Л – лещина, дуб. Д- злаковое разно- травье
ВО-3 7,8-7,4	влажно тепло	7,8, 7,5 тепло 7,7 холодно			8–8,3	тепло сухо, крат	-"- ясень, клен,луга Л-солянки
АТ-1 7,4-6,9	сухо холодно	7,4, 6,9 холодно 7,1 тепло	7,2	Сильно сухо тепло	8-4,5	тепло влажно	Д- дуб, Л-ольха, осина, вяз, липа; сосна- береза, разнотравно- луг.
АТ-2 6,9-6,3	влажно, те- пло,оптим.	6,7 тепло 6,4 холодно	6,9-6	сухо			Дуб, липа, клен, раз- нотравно-луг.
6,3-5,8	сухо холодно	6,0 тепло 5,8 холод	6,6-6,2 6,2-6,1	влажно тепло опт. засушливо			Луговые; Л- боры
АТ-3* 5,8-5,3	оптим. тепло, сухо	5,5 тепло 5,2 холод	5,6-5,1	влажно тепло		тепло влажно	-"-, Л- бук, граб, береза, сосна
5-4,8 4,8 4,7-4,6	тепло сухо влажно холодно	4,9 холодно 5,0, 4,7 тепло	5,0	сухо	4,6	сухо, холодно кратко	Л – дуб, липа Л – солянки, диато- меи солеустойчивые
SB-1 4,5-4,3 4,2-4,1	сухо, холодно влажно, хол.	4,5 холодно	4,58- 4,2±0,1	Влажно макс	4,2	влажно холодно	Д- сосна, Л– бе- реза, ольха, дуб, разнотр-злаков
SB-2 4-3,9 3,9-3,7 3,6-3,3	сухо, тепло влажно,тепл сухо, холод	3,9, 3,5, 3,3 тепло 3,7, 3,4- холодно	4,2-4 4-3,5 3,5-3,4	мак. сухо, те- пло, влажно тепло, сухо	4,2- 3,2	влажно тепло	Д – сосна, Л– бе- реза, ольха, дуб разновно-луговые степи

Время, т. л. н.	Gerasimenko 1997 [8]	Кременецкий, 1991 [10]	Спиридонова, 1991 [3]		Трегуб, 2008 [6]		
SB-3 3,2-3 2,9-2,7 2,6-2,5 2,5-2,2 2360±50	очень влажно холодно сухо, тепло влажно холодно	3,2 холодно 2,8 тепло 2,5 холодно 2,3 тепло	3,4-2,9  2,9-2,5	влажно холодно сухо		отн. сухо холодно	Расширение леса, липа, вяз, береза- сосна, дуб
SA-1 2,2-1,9 1,9-1,6 1,8	Сухо, тепло тепло, влаж	2,2;1,9холод 2; 1,8, 1,6 тепло 1,7 холод	2,5 2,2	сухо тепло		сухо холодно	Дуб-липа и вяз, сосна, ель
SA-2 1,6 1,5-1,2 1,2-1	сухо холодно тепло	1,5, 1,2 холодно 1,3 тепло				влажно тепло	Д- злаковые и луго- вые сосна, дуб, липа
SA-3 1-0,9 0,9; 0,4 0,9-0,8 0,8-0,2 0,4-0,2 0,2	влажно, теп. сухо тепло холодно холодно тепло	1,0 тепло 0,7, 0,5 холодно 0,3 тепло 0,35 тепло 0,2 холодно	1,0	тепло		прохла-дно	Д-сосна, разно- трав- но-злаковые и злако- во-полынные
							Д-злаковые и луго- вые, Л-лес

*Примечание.* РВ – пребореал; ВО – бореал: 1 – ранний и 2 – поздний; АТ – атлантик, SB – суббореал, SA – субатлантик: 1 – ранний, 2 – средний, 3 – поздний; \* с АТ – данные для озера Саки, Крым [9]. Д – доминант, Л – локально, Ед – единично.

В конечную короткую фазу атлантика климат был наиболее благоприятным, о чем свидетельствует появление пыльцы мезофильных граба (*Carpinus betulus* L., до 15% от суммы пыльцы деревьев) и бука (*Fagus silvatica* L., 1,5%) и наличие лесов со следующим сложным составом: с двумя видами дуба (*Quercus robur* L., *Q. pubescens* Willd, 30–40%) и липы (*Tilia cordata* Mill., *T. cordifolia* Bess., 20–30%), клена (*Acer tataricum* L.), вяза (*Ulmus*) и орешника (*Corylus*) [6]. Подтверждением наличия данного хроносреза служат палинологические данные Украины [8]. Среди травяного яруса в атлантике распространялось разнотравье с луговыми видами.

В заключительный этап атлантика (4,6 т. л. н.) в состав трав внедрялась солянка – *Salsola soda* L., что указывает на аридные условия, более продолжительные, чем в конце бореала. Данный засушливый и прохладный период также фиксировался в Беларуси и Украине (Еловичева, 26; Gerasimenko, 1997) и сопрягался с появлением солоноватоводных видов диатомовых водорослей [6].

По данным Спиридоновой (1991) в течение хронопериода 7–5 т. л. н. отмечалось три фазы иссушения: сильное 7,2 т. л. н. и менее значительное – 6,9–6 и 5 т. л. н., чередующиеся с более гумидными условиями. Широколиственные леса богатого состава отмечены 6,6–6,2 и 5,6–5,1 т. л. н. – периоды оптимума климатических условий [3], когда повышение среднегодовых показателей температуры и осадков достигало 1°C и 50–100 мм по сравнению с современными [1].

На рубеже атлантика и суббореала почти полностью исчезли популяции дуба, особенно на водоразделах, и немного сократились ареалы липы и вяза, что свидетельствует о понижении температуры.

**В начале суббореала** (4,5–4,2 т. л. н.) отмечалось резкое похолодание при сохранении количества осадков, что способствовало расширению площади боров с включением можжевельника и сокращению пространств, занятых ольхой и березой. Это привело к максимальному распространению лесов на юг региона, закончившемуся 4,2 т. л. н. [2, 3, 10]. В эти фазы злаково-разнотравные ассоциации трансформировались в разнотравно-злаковые биоценозы.

В период около 4,2 т. л. н. некоторое потепление климата при неизменности влагообеспеченности благоприятствовало возрождению одноярусных дубрав на пониженных элементах



рельефа и склонах оврагов и балок. Террасы и песчаные массивы занимали доминирующие березово-сосновые леса. На значительных территориях распространялись в основном степные разнотравно-луговые сообщества, которые сохранялись с динамичным изменением в течение 800–1000 лет (SB-2, 4,2–3,2 т. л. н.), под которыми на водоразделах формировались черноземы [6]. Е.А. Спиридонова [3] отмечает значительную аридизацию климата в короткий период  $4170 \pm 1 - 3970 \pm 160$  л. н. с исчезновением лесов и господством сухих степей; засушливыми также были этапы 3,5–3,4 и 2,9–2,5 т. л. н.

В Среднерусской лесостепи выявлено два суббореальных похолодания (5,3–4,5 и 3,5–2,9 т. л. н.) и два потепления (4,5–3,5 и 2,9–2,5 т. л. н.). Во время потепления среднегодовые температуры и суммы осадков были близки современным, лесостепной ландшафт сохранялся [4]. В сопредельных регионах Украины ритм максимума аридности установлен 4,1–3,5 т. л. н. [8].

К началу субатлантика отмечено медленное похолодание и аридизация, что привело к уменьшению площади дубрав. Последующая благоприятная климатическая обстановка способствовала возобновлению дубовых лесов с липой. Однако и сосновые леса были распространены на больших ареалах в субатлантике.

В конце этого периода на протяжении нескольких фаз в ландшафте доминировали травянистые биоценозы, состоящие из злаковых ассоциаций и лугового разнотравья. Это указывает на недостаточность увлажненности для распространения лесов [6].

### **Изменения ландшафтов и климата лесостепи Западной Сибири в голоцене**

Схема изменения климата и ландшафтов региона в голоцена составлена Т.П. Левиной, Л.А. Орловой в 1993 г. [12]. С тех пор появились новые работы, ее дополняющие. Одно из наиболее детальных исследований проведено в Тоболо-Ишимье. По палинологическим данным из отложений 4 озерно-болотных и 22 почвенных разрезов и культурных слоев многих древних поселений, включая 150 радиоуглеродных дат, составлена схема климатических условий голоцена [13, 14].

Приведем характеристику изменения природной среды в голоцене для Тобол-Ишимского региона. В период бореального потепления (9–7,7 т. л. н.) климат был более влажный и теплый, чем современный; росли мелколиственные леса, иногда с примесью ольхи, вяза и сосны. Ландшафтные условия сопоставимы с современной северной лесостепью.

В лесостепи в **раннем атлантике** (7,7–6,3 т. л. н.) происходило дальнейшее потепление, степень увлажнения снижалась. Территории, занятые березовыми лесами, сокращались, уменьшалось количество ольхи и сосны, луговые степи расширялись, а их состав существенно не изменялся. Уровень воды в водоемах снижался. Граница лесостепных биомов сдвинулась немного севернее современных рубежей.

В **середине атлантического периода** (6,3–6,1 т. л. н.) было умеренно тепло, отмечался рост увлажнения и подтопления поймы, в которой сохранялись березовые леса, боры встречались в ряде районов Притоболья. На террасах и гривах распространились луговые ассоциации с господством злакового разнотравья.

В период 6,1–5,3 т. л. н. обстановка изменяется, формируется типичная лесостепь, ранее распространенная южнее в результате потепления и постепенного уменьшения увлажненности, и она оставалась больше современной. На юге северной лесостепной зоны постепенно исчезают березовые леса, луговые комплексы обогащались степными и ксерофитными представителями.

**Финал атлантического периода** (5,3–5 т. л. н.) характеризовался умеренно теплыми условиями, но начинает проявляться засушливость. Уровень водоемов снижался, в поймах и низких террасах сохранялись луга и березовые леса, из которых исчезла ольха. Ксерофитизация травяных биомов проявлялась на террасах и водоразделах.

В фазу ~5,1–5 т. л. н. продолжалось остепнение ландшафтов под влиянием умеренно засушливого и теплого климата. Долинные леса представлены крупными массивами, на равнинах – колочными локусами. В их составе превалировала береза с примесью ольхи, ивы и калины. Уровень воды в озерах и реках понижался, озера зарастали. Травостой в поймах пред-

ставлен разнотравно-злаковыми лугами, на повышенных территориях — злаково-попынными ассоциациями. Следовательно, биомы типичной или южной лесостепи расширились на север, а подзона северной лесостепи сужалась.

**В начале суббореального периода** (5–4,5 т. л. н.) в Тоболо-Ишимье отмечалось умеренное похолодание, с влагообеспеченностью близкой современной. Это привело к восстановлению придолинных березовых лесов, часто с ольхой. В травостое господствовали злаково-разнотравные ассоциации, ксерофиты сокращались.

**В середине суббореального периода** 4,5–3,2 т. л. н. фиксируется теплый и максимально аридный климат. Но выявлена метахронность изменения климата, так снижение увлажненности вызвало ксерофитизацию травянистого покрова и исчезновение березовых лесов на водоразделах южного Приишимья раньше, чем в Притоболье. Дефицит влажности стал повсеместным с ~4,1 т. л. н., и максимальным – в интервале 3,4–3,2 т. л. н. Климатическая обстановка не была однородной, выделялись фазы небольшой степени гумидизации (4,3–4,1 и 3,7–3,45 т. л. н.) и периоды теплого и сухого климата (4,5–4,3; 4,1–3,9; 3,9–3,7; 3,45–3,2 т. л. н.). Аридизация была интенсивней, чем гумидизация, и оказала большее влияние на биомы. На это указывает также обмеление водоемов, исчезновение лесов, продвижение их распространения на север. Господствовали остепненные луга и луговые степи. Благоприятные экологические условия сохранялись вблизи рек и озер.

**Финал суббореального периода** (3,2–2,5 т. л. н.) характеризуется прохладными и недостаточно влажными природными условиями. Во всех районах Тоболо-Ишимья похолодание приходилось на периоды 3,1–2,8 и 2,7–2,5 т. л. н., разделенные фазой потепления 2,8–2,7 т. л. н. с гумидизацией ниже современной. Максимальные изменения растительности отмечены на севере Притоболья, где постепенно восстановились березняки и боры. А в южных районах они были приурочены к долинам рек, а преобладали остепненные луга.

**В начале субатлантического периода** (2,5–1,9 л. н.) на юге Тоболо-Ишимья развивались березовые леса, на севере – к ним добавилась сосна с примесью ели. В интервале 2,6–2,5 т. л. н. теплообеспеченность сохранялась, но фиксировалось возрастание влажности. В Притоболье в стадию 2,3–2,1 т. л. н. индизировалось нарастание потепления и засушливости климата; березовые леса сохранялись, в травяные ареалы появились признаки остепнения по сравнению с современными. Леса исчезали на южной границе, в Притоболье сократилась доля сосны, и лишь в конце интервала увеличилась доля кедра.

Это указывает на очередное похолодание и гумидизацию климата на этапе 2,1–1,9 т. л. н. и развитие хвойных лесов в этом районе. В южных безлесных районах лесостепи в это время появились березняки. В лесах Притоболья выявили березе, сосну и кедр, а также ель, липа, реже вяз, в составе лугово-степных ценозов часть полыней и маревых замещалась мезоксерофитным разнотравьем. В Приишимье похолодание наступило позднее, здесь было значительно суше, но отмечалась кратковременная гумидизация, особенно в финале интервала. Во всем регионе фиксировалась тенденция сдвига границ природных зон к югу.

На этапе 1,9–1,7 т. л. н. климат был достаточно засушливый, особенно в Приишимье. Кардинальная смена ландшафтов в результате гумидного и прохладного климата происходила 1,7–1,4 т. л. н. На юге региона росли березовые леса и начали распространяться ленточные боры с севера вдоль рек Тобол, Исеть и Ишим. Уменьшались ареалы остепненных лугов. В то же время формировались сосновые боры в ближайшем регионе – Северном Казахстане [10].

**В середине субатлантического периода** (1,9–1 т. л. н.) климат Притоболья и Приишимья менялся под действием умеренно-прохладных и более влажных условий. Малый климатический оптимум проявлялся в дефиците увлажнения периода 1,4–1,1 т. л. н., и кратковременном потеплении 1,1–1 т. л. н. В это время вновь увеличивается доля лугов.

В финале субатлантического периода голоцена на протяжении 1000 лет, ландшафты почти не отличались от современных. Распространялись бореальные составляющие: в Притоболье – кедр и ель, Приишимье – сосна, ель и липа. На юге Приишимья возросли локусы остепненных лугов с полынью и злаками, вероятно в результате более прохладных и сухих условий, чем раньше. В интервале 700–500 л. н. они сменяются умеренно прохладным клима-

том с дифференциацией увлажнения в северных и южных районах. Гумидизация северных регионов благоприятствовала распространению лесов. Напротив, в южных районах аридизация приводит к ксерофитизации травянистых сообществ, господству березовых лесов с примесью ели и ольхи. В последующую фазу 500–300 л. н., повсеместно отмечается теплый и сухой климат, резкое различие ландшафтов юга и севера исчезло. Последние 300 лет условия были умеренно теплые с постепенно гумидизацией. Большие пространства Тоболо-Ишимья занимает северная лесостепь в сочетании с лугами и березовыми лесами. В Притоболье распространены придолинные березово-сосновые леса и сосновые боры. В северных районах характерны подтаежные леса с примесью темнохвойных, а в южных – сохранились остепненные луга [13, 14].

Также холодная стадия 3,4–2,3 и засушливый ритм 2,8–1,7 т. л. н., который совпадает с пониженным уровнем озера, выявлены при комплексном изучении отложений оз. Белое (50 км на юг от Новоосибирска). Позднее климат изменился на более теплый и влажный, лесостепь сохранялась в регионе, но, вероятно, сдвинулась на юг [15].

Имеются палинологические и палеоботанические исследования датированных (29 дат) отложений двух торфяных болот, расположенных в южной тайге (сосновые леса) Среднего Урала. Установлено три хроносреза максимальных изменений климата. Начало распространения древесной растительности маркирует потепление ~11 кал. т. л. н.; в фазу 9,3–8,6 т. л. н. происходило дальнейшее существенное потепление, что способствовало формированию боров и смешанных лесов с участием широколиственных деревьев. На границе атлантического и суббореального периодов выявлена короткая фаза с сухим климатом. Во время от 4,6–5 до 3,7 т. л. н. климат был влажный и теплый, среди хвойных лесов распространялись вяз, липа, дуб, иногда граб. Условия были даже благоприятнее, чем в атлантический оптимум. В последующий интервал 3,7–2,7 т. л. н. климат сменился более холодным и сухим, в сосновых лесах преобладали березы, с примесью ели, сибирской сосны и ряда широколиственных пород. Отмечены другие засушливые периоды: 8,3–7,8, 6,2–5,8 и 5,4 т. л. н. [16].

Имеются и другие реконструкции климата голоцена в регионе по палинологическим спектрам отложений озер и болот Западной Сибири [17–21].

### Развитие почв лесостепей в голоцене

**В позднеледниковье** в разных регионах были распространены перигляциальные ландшафты, и развивалось криогенное почвообразование с маломощными почвами. Обычно выявляются гумусовые горизонты или клиновидные гумусовые структуры в трещинах, переотложенные солифлюкционными процессами. Они формировались в периоды потеплений. Мерзлота залегала неглубоко и, очевидно, препятствовала вымыванию карбонатов и тонких частиц. Почвы были темноцветные хорошогумусированы, окарбонаты, оглеены, оглиены. Об этом можно судить по разрезам Воронежской обл., Подмосковья, Ленинградской и Новосибирской обл., Тывы [17, 22–26]. Кроме того выявляются реликтовые вторые гумусовые горизонты, имеющие ранне-среднеголоценовый возраст и залегающие в профиле дерново-подзолистых и серых лесных почв. Это сохранившаяся нижняя и более древняя часть гумусового профиля, она может быть омоложена в результате современной микробной активности и привноса мелкозема с поверхностных горизонтов [23].

**В раннем голоцене** с потеплением климата и распространением лесостепных ландшафтов формируются маломощные черноземы, они распространены значительно севернее, чем сейчас [23]. В этот период на низменных равнинах формировался гидроморфный почвенный покров из лесолуговых глеевых, луговых и болотных почв [22, 27].

Возможность быстрого образования гумусового горизонта мощностью до 20 см показана на отвалах в карьерах, насыпях, так как начальные стадии педогенеза ( $n-n \cdot 10^1$  лет) имеют скорость воспроизводства гумусового горизонта на два порядка выше по сравнению с последующими этапами развития почв [28].

**В атлантике** с началом климатического оптимума голоцена почвообразование направлено в сторону образования черноземов и черноземно-луговых почв. В атлантике в лесостепи

периоды выщелачивания сменялись ритмами подъема уровня грунтовых вод в почвенный профиль, что приводило к развитию гидроморфизма, засоления и окарбонирования почв. На низменных равнинах доминировали почвы лугового ряда с признаками засоления, осолонцевания и высокой карбонатности [27].

В третьем ритме атлантика часто генезис почв состоит из двух фаз: вначале луговой, затем лесной почвообразовательные процессы. Во втором ритме суббореала в лесостепи образуются почвы, близкие к серым лесным. При изучении аккумулятивных ландшафтов (80 объектов, 180 <sup>14</sup>C дат) Центрального Черноземья выявлено семь стадий формирования почв 0.15-0.45, 1.5-2.3, 2.8-4.2, 4.7-6.2, 6.6-7.7, 8.3-9.5 и 10.2-10.4 т. л. н., в это время климат благоприятствовал почвообразованию, они разделены ритмами интенсивной эрозии и аккумуляции отложений, которые препятствовали почвообразованию [29].

**В суббореальный период** выявлено много хорошо сохранившихся археологических памятников. Исследование почв под курганами, оборонительными земляными валами разного возраста (от 4 до 1 т. л. н.) свидетельствует о том, что в эпоху бронзы компонентами палеопочвенного покрова были: на дренированных водоразделах Среднерусской и Калачской возвышенностей – палеочерноземы разной степени окарбонированности и засоления под лугово-степной растительностью; на недренированных низменных равнинах и слабодренированных водораздельных участках возвышенностей – серые лесостепные палеопочвы в дубравах, черноземно-луговые и лугово-черноземные карбонатные солонцевато-засоленные палеопочвы и черноземно-луговые палеосолонцы [27, 30, 31].

В позднем субатлантике климат и хозяйственная деятельность людей привели к сокращению долинных лесов и локальных дубрав на плакорах и расширению степной растительности.

Анализ большого количества палеопочв, погребенных под курганами за последние 5000 лет показал разнонаправленные тренды их развития в разных регионах безлесной южной части Восточно-Европейской равнины. Выявлен ритм ухудшения почвенных свойств: сокращение мощности гумусового профиля и увеличение карбонатного слоя в период с 4,5–5 до 4–3,7 т. л. н., линейный ареал запаздывавшего (ранее 3,6–3,2 т. л. н.), а затем ускоренного формирования гумусового профиля черноземов в зоне контакта между циклоническим и антициклоническим режимами погоды вдоль оси Воейкова (Монголия – Кызыл – Уральск – Саратов – Харьков – Кишинев [32].

Каковы причины изменения климата на Земле? Они обусловлены количеством поступающего солнечного излучения, извержениями вулканов, изменением параметров орбиты Земли, динамикой состава атмосферы и др. Для Европы в небольшом временном интервале важным является Северо-Атлантическое колебание. Оно создается в результате разнонаправленного изменения давления над Исландией и Азорскими островами, что приводит к смене интенсивности западных ветров, которые несут из Атлантики тепло и влагу. Оказывают влияние на климат и локальные условия.

**Заключение.** На протяжении всех периодов голоцена в современной лесостепи Центрального Черноземья, судя по составу палиноспектров, росли лесные ассоциации разного состава и структуры в зависимости от климатических условий. Леса имели несомкнутый характер, а при уменьшении увлажненности они приобретали структуру, близкую к лесостепному зональному типу. Обилие пыльцы травянистых биомов на отдельных участках объясняется геоморфологической приуроченностью изученных скважин к поймам речных долин или к конусам выноса. Данные выводы [6] хорошо согласуются с ходом кривых, отражающих колебания гидротермического режима в схеме [2,3].

Рубежи этапов развития почв и природной среды в голоцене в разных регионах характеризуются метахронностью (термин К.К. Маркова, 1964). На протяжении голоцена происходили заметные колебания гидротермического режима с продолжительностью от 100-300 до 700 лет. В разные периоды голоцена продолжалось колебание границ леса и степи. Кроме того отмечаются интервалы иссушения и продвижения к северу степных биомов. Также имели место периоды похолоданий, короткие, но фиксирующиеся в почвах в виде мерзлотных клиньев.

В позднеледниковье начало развиваться криогенное почвообразование с маломощными почвами, которые были окарбонаты, оглеены и оглиненны, они выявлены как отдельные горизонты или клиновидные структуры. В раннем голоцене с распространением лесостепных ландшафтов формируются маломощные черноземы и гидроморфные почвы. В дальнейшем их границы расширялись и сужались, изменялись их свойства в зависимости от климатических условий и степени дренированности местности и др. По мнению многих авторов их климатическое состояние началось около 2000 лет назад.

*Работа выполнена при финансовой поддержке госзадания № АААА-А18-118013190175-5 «Развитие почв при изменении климата и антропогенных нагрузках» и гранта РФФИ 17-05-01151 (полевые работы и химические анализы).*

### Литература

1. Климанов В.А., Серебрянная Т.А. Изменения растительности и климата на Средне-русской возвышенности в голоцене // Изв. АН СССР. Серия географ. 1986. № 1. С. 26–37.
2. Хотинский Н.А. Дискуссионные проблемы реконструкции и корреляции палеоклиматов голоцена // Палеоклиматы позднеледниковья и голоцена. М.: Наука, 1989. С. 12–16.
3. Спиридонова Е.С. Эволюция растительного покрова бассейна Дона в верхнем плейстоцене и голоцене. М., 1991. 218 с.
4. Серебрянная Т.А. Динамика границ Центральной лесостепи в голоцене // Вековая динамика биогеоценозов. Чтения памяти ак. В.Н. Сукачева. М.: Наука, 1992. С. 54–71.
5. Смирнова О. В., Турубанова С.А. Формирование и развитие Восточно-Европейских широколиственных лесов в голоцене // Бюл. Моск. об-ва испытателей природы.
6. Трегуб Т. Ф. Этапы развития растительности в голоцене на территории Воронежской области // Вестник ВГУ, серия: геология. 2008. № 1. С. 29–33.
7. Борзенкова И.И., Борисова О.К., Жильцова Е.Л., Сапелко Т.В. Холодный эпизод около 8200 лет назад в Северной Европе: анализ эмпирических данных и возможных причин // Лед и снег. 2017. Т. 57, № 1. С. 117–132.
8. Gerasimenko N.P. Environmental and climatic changes between 3 and 5 ka BP in Southeastern Ukraine // Third millennium BC climate change and Old World collapse. H.N. Dalfes, G. Kukla and H. Weiss, eds. NATO ASI Series, Vol. 49. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1997. P. 371-399.
9. Gerasimenko N., Subetto D. Pollen data from the Saki lake as an indicator of the Holocene environmental changes in the South-Western Crimea // Internat. conf. EMMM-2011, A.A. Borisiak Paleontological Ins. RAS, Russia. 2011.
10. Кременецкий К.В. Палеоэкология древнейших земледельцев и скотоводов Русской равнины. М.: Институт географии АН СССР, 1991. 188 с.
11. Еловичева Я.К. Палинология и климатостратиграфия плейстоцена Беларуси // Палинолог., климатостратиграф. и геоэколог. реконструкции. СПб., 2006. С. 179–222.
12. Левина Т.П., Орлова Л.А. Климатические ритмы голоцена юга Западной Сибири // Геология и геофизика. 1993. Т. 34 (3). С. 38–55.
13. Зах В.А., Зимица О.Ю., Рябогина Н.Е. Радиоуглеродные даты археологических и природных комплексов Тоболо-Ишимья (по материалам Тоболо-Ишимской экспедиции ИПОС СО РАН) // Вестник археол., антропол. и этногр. 2011. № 1 (14). С. 219–233.
14. Zakh, V.A., Ryabogina, N.E., Chlachula, J. Climate and environmental dynamics of the mid- to late Holocene settlement in the Tobol–Ishim forest-steppe region, West Siberia // Quatern. Internat. 2010. № 220 (1–2). P. 95–101.
15. Krivonogov S.K., Takahara H., Yamamuro M. et al. Regional to local environmental changes in southern Western Siberia: Evidence from biotic records of mid to late Holocene sediments of Lake Belye // Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol. 2012. № 331–332. P. 194-206.
16. Panova N.K., Antipina T.G. Late Glacial and Holocene environmental history on the eastern slope of the Middle Ural mountains, Russia // Quatern. Intern. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.035>
17. Орлова Л.А. Голоцен Барабы (Стратиграфия и радиоуглеродная хронология). Новосибирск: Наука, 1990. 128 с.
18. Blyakharchuk T.A. Western Siberia, a review of Holocene climatic changes // J. of Siberian Federal University. Biology. 2009. № 2. P. 4–12.

19. Zhilich S., Rudaya N., Krivonogov S., Nazarova L., Pozdnyakov D. Environmental dynamics of the Baraba forest-steppe (Siberia) over the last 8000 years and their impact on the types of economic life of the population // *Quaternary Science Reviews*. 2017. № 163. P. 152–161.
20. Хазина И.В. Реконструкция природно-климатических обстановок среднего–позднего голоцена Новосибирского Приобья (по палинологическим исследованиям оз. Белое) // *Геология и геофизика*. 2006. Т. 47 (8). С. 971–978.
21. Maslennikova A.V., Udachin V.N. Lakes ecosystem response to Holocene climate changes and human impact in the Southern Urals: Diatom and geochemical proxies // *The Holocene*. 2016. № 27(6). DOI: 10.1177/0959683616675942
22. Шевырев Л.Т., Горлов М.Д., Спиридонова Е.А. и др. Погребенные почвы Калачской возвышенности // *Почвоведение*. 1988. № 4. С. 45–57.
23. Александровский А.Л., Александровская Е.И. Эволюция почв и географическая среда. М.: Наука, 2005. 223 с.
24. Алифанов В.М., Гугалинская Л.А., Овчинников А.Ю. Палеокриогенез и разнообразие почв центра Восточно-Европейской равнины. Л.: ГЕОС, 2010. 178 с.
25. Никонов А.А., Русаков А.В. Уникальная находка раннеголоценовой погребенной почвы на южном побережье Финского залива: условия нахождения, залегание, возраст // *Почвоведение*. 2010. № 1. С. 18–29.
26. Дергачева М.И., Очур К.О. Реконструкция изменений природной среды в течение голоцена на территории Центрально-Тувинской котловины // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2012. № 1. С. 5–17.
27. Ахтырцев А.Б., Ахтырцев Б.П., Яблонских Л.Я. История формирования и эволюция почв лесостепи в голоцене // *Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкол.* 2003 № 1. С. 30–41.
28. Голушов П.В., Лисецкий Ф.Н. Воспроизводство почв в антропогенно нарушенных ландшафтах лесостепи. М.: ГЕОС, 2009. 210 с.
29. Sycheva S.A. Long-term pedolithogenic rhythms in the Holocene // *Quaternary International* 26. № 152. P. 181–191. DOI 10.1016/j.quaint.25.12.9
30. Иванов И.В., Табанакова Е.Д. Изменения мощности гумусового горизонта и эволюция черноземов Восточной Европы в голоцене (механизмы, причины, закономерности) // *Почвоведение*. 2003. № 9. С. 1029–1042.
31. Lisetskii F.N., Stolba V.F., Pichura V.I. Late-Holocene palaeoenvironments of Southern Crimea: Soils, soil-climate relationship and human impact // *The Holocene*. 2017. V. 27, is. 12. P. 1859–1875. DOI: 10.1177/095968361770844
32. Чендев Ю.Г., Лупо Е.Р., Лебедева М.Г., Борсукова Д.А. Региональные особенности климатической эволюции почв южной части Восточной Европы во второй половине голоцена // *Почвоведение*. 2015. № 12. С. 1211–1223.

## RECONSTRUCTION OF NATURAL CONDITIONS AND SOILS OF THE HOLOCENE IN FOREST-STEPPE OF THE CENTRAL CHERNOZEMIC AREA AND WESTERN SIBERIA

V.E. Prikhodko

Institute of Physico-Chemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, valprikhodko@rambler.ru

**Summary.** *The dynamics of soils, landscapes and climate of forest-steppe zone in the Holocene is shown on the basis of generalization of palynological and soil data. The development of forests and low- thickness soils started at the beginning of the Boreal period. During the Holocene, the dynamics of the forest, steppe and soil boundaries continued according to climate changes that were metachronous in different regions. In the Sub-Atlantic period anthropogenic reduction and planting of forests and expansion of steppes is revealed.*

**Keywords:** *buried soils, palynological analysis, geoarchives, climate.*

## СПЕЦИФИКА ГЕНЕЗИСА БУРОЗЕМОВ НА КРАСНОЦВЕТНЫХ КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

Б.Ф. Пшеничников<sup>1</sup>, Н.Ф. Пшеничникова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, bikinbf@mail.ru

<sup>2</sup> Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, n.f.p@mail.ru

**Аннотация.** *Рассмотрена специфика условий формирования буроземов на красноцветных корях выветривания острова Рикорда. Проведен анализ морфологического строения буроземов, свидетельствующий о полигенетичности их профиля. Показана связь своеобразия физико-химических свойств буроземов с пирогенным фактором и капельно-импульверизационным приливом морской влаги.*

**Ключевые слова:** *остров, буроземы, условия формирования, коры выветривания, морфологическое строение профиля, почвообразование, полигенетичность, влияние моря.*

**Актуальность.** Среди проблем островного почвообразования наименее изучена специфика формирования буроземов на островных территориях юга Дальнего Востока, в частности, на островах залива Петра Великого (ЗПВ). Остров Рикорда, по мнению С.В. Зонна, является «типичным объектом для проведения исследований по выяснению особенностей выветривания и почвообразования. Здесь оно происходит в условиях постоянно высокой влажности воздуха, заплески волн смачивают обнажения прибрежных пород, и коры выветривания формируются под их воздействием. В прибрежной части острова импульверизационное и капельное увлажнение охватывает всю толщу обнажающихся почв и коры выветривания» [1. С. 124]. В результате этого в составе атмосферных осадков прибрежных районов возрастает содержание хлора, натрия, магния и других ионов, а по мере удаления от берега оно уменьшается. С.В. Зонн одним из первых обратил внимание на геохимическое воздействие моря на процессы почвообразования прибрежных и островных территорий Японского моря. С учетом этого влияния он предложил выделять их как прибрежно-островную зону с характерным для нее гидротермически-импульверизационным режимом почвообразования [1].

Анализ литературных данных по химическому составу атмосферных осадков над континентальной и океанической частями Дальнего Востока, по динамике химического состава почвенных растворов свидетельствует о их влиянии на генезис и географию буроземов ДВ [2].

Цель данного исследования – показать специфику формирования приокеанических буроземов острова Рикорда в условиях геохимического влияния моря.

**Объект и методы исследования.** Остров Рикорда (492 га) четвертый по величине в заливе Петра Великого; простирается на 4,4 км с северо-востока на юго-запад с возвышенностями: на северо-востоке до 178 мн.у.м. и на юго-западе до 90–115 мн.у.м. В центральной части он разделен седловиной с абсолютной высотой около 25 м. Сложен эффузивными породами, в наиболее высоких частях острова перекрытых кварцевыми порфирами. Характеризуется муссонным типом климата с максимальным количеством выпадающих осадков в летне-осенний период, когда ливневые дожди сочетаются с морозящими осадками при преобладании восточных и юго-восточных ветров, приносящих на побережье морские соли. Остров характеризуется высоким биоразнообразием, обусловленным, с одной стороны, наличием дериватов растительности материковой части южного Приморья, а с другой – островной спецификой приокеанического климата [3].

Почвенный покров гористой части острова характеризуется большим разнообразием и включает буроземы типичные, буроземы оподзоленные, буроземы темные, буроземы темные иллювиально-гумусовые, неполноразвитые буроземы. На заболоченных бессточных ложбинах под осоково-разнотравными лугами формируются лугово-болотные почвы в комплексе с торфяниками. На низменных приморских участках распространены засоленные маршевые

почвы. В ряде мест на острове Рикорда буроземы формируются на желтоцветных и красноцветных реликтовых корах выветривания. Морфологическое строение и физико-химические свойства буроземов, сформировавшихся на желтоцветных корах выветривания, рассмотрены ранее С.В. Зонном [1]. Сведения о буроземах, развитых на береговых обнажениях красноцветных кор выветривания, отсутствуют, что определило их как объект наших исследований.

Исследования почвенного покрова проводились на основании сравнительно-географического метода, что позволило выявить специфику условий формирования, морфологического строения буроземов в зависимости от литологической основы, положения в рельефе и геохимического влияния моря. Аналитическая обработка материала проводилась общепринятыми методами [4].

**Результаты и их обсуждение.** Рассматриваемые буроземы выделены нами на обнажении побережья бухты Восточная острова Рикорда. В пределах профиля прослеживается резко выраженная дифференциация по окраске. Верхняя часть (мощностью 40 см) представляет собой современный элементарный почвенный профиль (ЭПП) с преобладанием серой, буровато-серой окраски, а нижняя часть (от 40 до 200 см) представляет собой реликтовую красноцветную кору выветривания. Согласно современным представлениям [5], их следует рассматривать как простые полигенетичные буроземы, совмещающие в почвенном профиле разновозрастные типы почвообразования, то есть наличие в почвенном профиле реликтовых и современных признаков почвообразования.

Приводим морфологическое описание одного из разрезов, характеризующее простые полигенетичные буроземы на красноцветной коре выветривания острова Рикорда.

Разрез 50-09 заложен на побережье центральной части бухты Восточная острова Рикорда, в 5–7 м от обрыва к морю на выположенном склоне восточной экспозиции крутизной 8°. Абсолютная высота около 60 м над уровнем моря. Растительность: полынно-разнотравная. В травостое (проективное покрытие до 80%, высота 50–60 см) преобладают (в порядке убывания): полны Гмелина и Сиверса, сосурия хорошенькая, патриния; в кустарниковом ярусе (проективное покрытие 30–40%) – шиповник Максимовича. Единично наличие возобновления древостоя – груши.

О 0–2 см. Подстилка, состоящая из грубого (практически неразложившегося) опада – преимущественно веточек шиповника и стеблей полны Гмелина, есть включения скелета размером 0,3–2,5 см (до 10% от объема), переход резкий.

АУ 2–14 (18) см. Темновато-серый, сухой, мелкокомковато-порошистый, тяжелосуглинистый, рыхлый, густо переплетен корешками растений, включения частичек древесного угля, скелет размером 1–2,5 см составляет до 15% от объема, переход, ясный, языковатый.

АУЕЛ 14(18)–28 см. Серовато-белесый, свежий, тяжелосуглинистый, структура мелкокомковатая, обломки породы (30–40% от объема) размером до 5–7 см, включения единичных частичек древесного угля, плотный, переход постепенный.

ВМС 28–40 см. Неоднородный по окраске: сочетание желтовато-серого и красного цвета, свежий, глинистый, мелкокомковатый, плотный, сильноскелетный (до 85–90% от объема), обломки размером от 3–5–7 см до 10–15 см уплощенной формы с острыми углами и ориентированные по направлению склона, включения частичек древесного угля, переход ясный.

С 40–200 см. Красноцветная кора выветривания, влажная, крупно-комковато-комковатая, тяжелосуглинисто-глинистая. Интенсивность окраски и содержание скелета варьируют по глубине: в пределах глубины 40–50 см присутствуют обломки размером 7–10 см; на глубине 50–70 см есть включения единичных древесных угольков, обломки значительно мельче размером, а цвет отложений приобретает более красные тона; на глубине 80–100 см скелет легко крошится и растирается пальцами до пыли красного цвета с остатками зерен светло-серо-розового цвета; на глубине 110–130 см выделяется яркая красноватая глинистая прослойка без включения скелета; с глубины 140–160 см окраска остается прежней, но появляется сильно выветрелый скелет, составляющий до 30% от объема почвенной массы, размером до 7–12 см; с глубины 170–180 см сохраняется яркий красноватый цвет с включением крупных обломков красного цвета с вкраплениями серовато-белого цвета, на изломе с темно-



коричневыми кутанами; ниже глубины 200 см мелкозем практически отсутствует и отложения представлены обломками породы (кварцевые порфиры).

Почва: бурозем оподзоленный на красноцветной коре выветривания.

Описание профиля свидетельствует о его полигенетичности. Верхняя часть (O-AУ-AУЕL-ВМС) – это современный профиль оподзоленного бурозема, сформированный на делювиальных отложениях, которые перекрыли сильновыветрелую глинистую красноцветную кору выветривания. Характерной чертой этих почв является наличие включений частиц древесного угля по всем генетическим горизонтам до глубины 70 см.

Профиль рассматриваемых буроземов характеризуется своеобразием не только морфологического строения, но и физико-химических свойств [6].

Рассматриваемые буроземы формируются в условиях сильнокислой реакции среды (табл. 1) – рН солевой по всему профилю колеблется от 4,23 до 4,59, исключение составляет гумусовый горизонт, который имеет слабокислую реакцию среды – 4,79, что, вероятно, связано с частыми пожарами травянистой растительности. Величина рН водного меняется вниз по профилю от слабокислых в аккумулятивно-гумусовом горизонте АУ (5,67) до нейтральных значений в нижележащих горизонтах, что, видимо, обусловлено капельно-импульверизационным приносом морской влаги.

Т а б л и ц а 1

**Физико-химические свойства буроземов острова Рикорда**

Горизонт	Глубина, см	Глубина взятия образца, см	Гумус по Тюрину, %	рН		Мг-экв на 100 г почвы				Степень насыщенности основаниями, %
				H <sub>2</sub> O	KCl	Гидролитическая кислотность	Обменные катионы по Гедройцу			
							H <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	
АУ	2–14(18)	3–13	11,78	5,67	4,79	9,63	0,82	17,02	11,01	74
АУЕL	14(18)–28	16–26	1,81	6,60	4,59	5,25	0,40	5,60	4,39	66
ВМС	28–40	29–39	1,07	6,66	4,35	4,03	0,20	7,70	6,88	78
С	40–200	40–50	0,60	6,54	4,25	3,85	0,41	9,08	1,24	73
С	40–200	55–65	1,10	6,32	4,25	3,50	0,42	10,74	9,04	85
С	40–200	85–95	0,93	6,35	4,23	3,50	0,62	11,48	8,20	85
С	40–200	115–125	1,09	6,40	4,26	3,33	1,64	13,96	6,98	86
С	40–200	145–155	0,72	6,32	4,23	3,50	1,67	14,13	7,98	89
С	40–200	170–180	0,41	6,33	4,44	2,98	1,44	10,70	5,04	84

Исследования Н.М. Костенкова и С.В. Клышевской, проведенные на трансекте длиной в 1,5 км (морское побережье – континентальная часть п-ва Гамова ЗПВ), показали, что «процессы импульверизации несомненно оказывают влияние на солевой состав водной вытяжки почв прибрежно-морской зоны, которая приобретает хлоридно-натриевый состав, хотя на континентальной части обычно почвенные растворы гидрокарбонатно-кальциевые [7].

Данные валового химического состава мелкозема рассматриваемых буроземов свидетельствуют о элюво-иллювиальной внутрипрофильной дифференциации валовых форм железа и алюминия (табл. 2). Такая закономерность их распределения отражает развитие процесса оподзоливания: вынос полуторных окислов из оподзоленного горизонта АУЕL и относительное накопление в нем кремнезема (64,44%).

Это обуславливает увеличение молекулярных отношений для SiO<sub>2</sub>:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с 6,76 в горизонте АУ до 7,08 в горизонте АУЕL, и соответственно для SiO<sub>2</sub>:Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – с 18,31 до 23,17 и в целом для полуторных окислов SiO<sub>2</sub>:R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – с 4,94 до 5,42.

Профильная динамика валового содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а также молекулярных отношений SiO<sub>2</sub>:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SiO<sub>2</sub>:R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, свидетельствует о развитии каолинизации в красноцветной коре выветривания. Ранее Зонн С.В. [8] отмечал, что это явление характерно для всей прибрежной

территории Японского и Желтого морей. Содержание валового кальция изменяется по профилю в пределах 1,18–2,37%. Максимальное его количество, связанное с биогенным накоплением, приходится на горизонт АУ – 2,37% и постепенно уменьшается с глубиной до 1,18%; в дальнейшем, на глубине 115–165 см, возрастает до 1,86%. Распределение магния имеет четко выраженный элюво-иллювиальный внутрипрофильный характер – вынос из верхней части профиля (гор. АУ и АУЕЛ) и накопление в нижележащей толще.

Т а б л и ц а 2

Валовой химический состав мелкозема буроземов острова Рикорда  
(в % на прокаленную навеску)

Горизонт	Потеря при прокаливании	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$
АУ	19,15	61,59	15,46	8,95	24,41	2,37	1,70	3,67	3,87	18,31	6,76	4,94
АУЕЛ	7,07	64,44	15,44	7,40	22,84	1,82	1,98	3,73	3,86	23,17	7,08	5,42
ВМС	7,32	63,49	18,34	7,54	25,88	1,51	2,16	2,65	2,09	22,40	5,88	4,65
С 55-65	7,72	60,11	20,98	8,23	29,21	1,18	2,12	2,79	1,64	19,43	4,86	3,89
С 115-125	8,10	59,90	20,35	8,16	28,51	1,86	1,33	2,58	2,04	19,52	5,00	3,98

Рассматриваемые буроземы отличаются повышенным содержанием валовых форм калия и натрия (3,73 и 3,87 соответственно). В верхних горизонтах (АУ и АУЕЛ) их содержанием максимальное, что связано с капельно-импульверизационным поступлением этих элементов с морскими водами. Согласно данным Аринушкиной Е.В. в России «валовое содержание щелочных металлов в верхнем горизонте почв сравнительно невелико и колеблется для K<sub>2</sub>O в пределах 1,29–2,35, для Na<sub>2</sub>O в пределах 0,58–1,88. В большинстве случаев содержание K<sub>2</sub>O превышает содержание Na<sub>2</sub>O по всему профилю и только в засоленных почвах соотношение щелочных металлов обычно изменяется в сторону увеличения содержания натрия» [4. С. 246]. Более высокое содержание валовых калия и натрия в рассматриваемых буроземах острова Рикорда и при этом преобладание натрия (3,87–3,86) над калием (3,67–3,73) является показателем активного геохимического воздействия моря на их формирование [9].

**Выводы.** Проведенное исследование свидетельствует о том, что своеобразие морфологического облика и свойств рассматриваемых буроземов острова Рикорда обуславливается тремя факторами.

Во-первых, оно определяется условиями формирования на современных делювиальных отложениях, перекрывающих реликтовые красноцветные коры выветривания, что обуславливает резкую дифференциацию почвенной толщи на верхнюю часть – современный профиль оподзоленных буроземов с преобладанием серых, темно-серых тонов окраски и нижнюю – реликтовую красноцветную кору выветривания.

Во-вторых, капельно-импульверизационное воздействие морских вод обуславливает слабощелочную до нейтральной среду водной вытяжки и повышенное содержание валовых форм калия и натрия. Преобладание содержания натрия в поверхностных горизонтах (АУ и АУЕЛ) над содержанием калия, согласно сложившимся представлениям [4], свидетельствует о наложении процессов засоления и осолодения на формирование оподзоленных буроземов на красноцветных корках выветривания острова Рикорда. Это положение созвучно мнению Г.И. Иванова [10] о том, что развитие процессов осолодения почв может быть вызвано натечными поверхностными слабощелочными водами, что и имеет место на исследуемой нами территории в условиях геохимического воздействия моря.

В-третьих, морфо-химическое своеобразие рассматриваемых почв в значительной степени определяется активным пирогенным воздействием.

## Литература

1. Зонн С.В. Особенности аллитного почвообразования на островах Приморья и Дальнего Востока // Изучение и освоение природной среды. М.: Наука, 1976. С. 125–137.
2. Пшеничников Б.Ф., Пшеничникова Н.Ф. Влияние интерференции геохимического воздействия Тихого океана, биоты, внутрипрофильного выветривания на генезис и географию почв юга Дальнего Востока // Рук. Деп. в ВИНТИ 15.03.05. № 349-В2005. 7 с.
3. Недолужко В.А., Добрынин А.П. Растительный покров острова Рикорда в заливе Петра Великого (Японское море) // Исследование растительного покрова российского Дальнего Востока. (Тр. Бот. садов ДВО РАН / гл. ред. В.А. Недолужко). Владивосток: Дальнаука, 1999. Т. 1. С. 173–192.
4. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1961. 492 с.
5. Турсина Т.В. Подходы к изучению литологической однородности профиля и полигенетичности почв // Почвоведение. 2012. № 5. С. 530–546.
6. Пшеничников Б.Ф., Пшеничникова Н.Ф. Полигенетичные буроземы острова Рикорда (залив Петра Великого) // Геосистемы и их компоненты в Северо-Восточной Азии: эволюция и динамика природно-ресурсных и социально-экономических отношений. Владивосток: Дальнаука, 2016. С. 237–242.
7. Костенков Н.М., Клышевская С.В. Влияние процессов импульверизации на содержание солей в почвах прибрежных морских ландшафтов // Вестник КрасГАУ. 2014. № 10. С. 81–84.
8. Зонн С.В. О почвообразовании, генетических особенностях и освоении почв КНДР // Генезис и география почв зарубежных стран по исследованиям советских географов. М.: Наука, 1978. С. 58–82.
9. Пшеничников Б.Ф., Пшеничникова Н.Ф. Роль геохимического воздействия моря на формирование буроземов побережья острова Рикорда (залив Петра Великого, Приморский край) // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана): доклады Всерос. науч. конф. (Москва, 18–20 окт. 2016 г.). М.: Географический факультет МГУ, 2016. С. 445–449.
10. Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 200 с.

### **SPECIFICITY OF BUROZEM GENESIS ON RED RESIDUE (PETER THE GREAT GULF, PRIMORSKY KRAI)**

B.F. Pshenichnikov<sup>1</sup>, N.F. Pshenichnikova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Far Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: bikinbf@mail.ru

<sup>2</sup> Pacific Institute of Geography FEB RAS, Vladivostok, e-mail: n.f.p@mail.ru

**Summary.** *The research focuses on burozem formation conditions on red residue of Rikord Island. Morphologic structure analysis of burozems gives evidence of the burozem profile polygenic nature. Physical and chemical properties of the burozems show notable influence of pyrogenic processes and seawater and airborne salt input on the local soil formation.*

**Keywords:** *island, burozem, soil formation conditions, residue, profile morphologic structure, pedogenesis, polygenic nature, sea effect.*

## АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЩЕБНЯ В ПРОФИЛЕ И ГЕНЕЗИС БУРОЗЕМОВ (СРЕДНИЙ УРАЛ, ХРЕБЕТ БАСЕГИ)

И.А. Самофалова

Пермский государственный аграрно-технологический университет, Пермь,  
samofalovairaida@mail.ru

**Аннотация.** *Определено шесть типов распределения щебня по профилю, которые объединены в три генетические группы. Установлена информационно-логическая связь между распределением щебня и формированием генетических признаков буроземов, что позволило выявить три направления генезиса буроземов: классический ненарушенный монопрофиль; нарушенный профиль (полигенетические почвы); эоловое происхождение буроземов при отсутствии щебнистого материала в верхней части профиля.*

**Ключевые слова:** *буроземы, генезис, генетические признаки, распределение по профилю, щебень, общая информативность, горные почвы, тип профиля, инверсия, высотный пояс.*

**Актуальность.** Горные почвы до сих пор представляют интерес вследствие малой изученности и особенностей их образования [1–7]. Розанов Б.Г. [8] одной из особенностей горного почвообразования считал повсеместное распространение на горных склонах гумидных, субгумидных и субаридных районов мира буро окрашенных слабо дифференцированных на горизонты почв. Бурые лесные почвы (буроземы) многие годы представляли огромный интерес, вызывая массу споров об их распространении и происхождении. Исследуя факты и результаты на протяжении длительного времени, ученые пришли к выводу, что буроземы образуются там, где произрастают смешанные и хвойные леса при умеренном влажном климате на различных породах [1, 3–5, 9, 10].

Отличительным признаком горных почв является наличие щебня в профиле, который является диагностическим показателем [1, 4, 5, 7–11]. Соотношение крупного, среднего, мелко-го щебня влияет на почвообразовательные процессы, что приводит к формированию множества почвенных разностей. Щебнистые почвы следует рассматривать как почвы с непрерывным привносом вещества, обусловливаемый выветриванием. Привнос осуществляется тем интенсивнее, чем более измельчен выветриваемый материал. Щебень оказывает влияние на структуру, гранулометрический состав, физические свойства почвы. Скелетность почв обеспечивает их высокую теплопроводность, способствующую быстрому оттаиванию всего профиля и высокую водопроницаемость, предотвращающую развитие процессов сезонного переувлажнения и оглеения.

Многие авторы [1, 3, 9, 10] считают, что формирование мелкозема в горных почвах связано с разрушением массивно-кристаллической породы и ее обломков, залегающих в основании почвы и слагающих ее каменистую часть. Другие ученые [5, 12–14] утверждают, что есть факты, которые противоречат этому положению. Так, часто горизонт А1 почти или совсем лишен щебня; а в ряде случаев встречаются почвы на курумах, где мелкозем и подстилка, «проваливаясь» между камнями, заполняют пустоты между ними. Эти факты невозможно объяснить только теорией образования почвы на элювии. Наиболее вероятно в таких случаях эоловое происхождение почв. Образующийся при выветривании мелкозем, как и мелкозем щебнистых глин, переносится ветром и накапливается вокруг растений [5, 12, 13]. Пыль, представленная элювием и перенесенная с соседних склонов, смешивается с субстратом. Таким образом, материал аэриального происхождения (и его смеси), могут быть почвообразующими породами в горных территориях, где порода перекрывается плащом мелкозема, в котором и формируется почва.

Цель исследований – изучить взаимосвязи между распределением щебня в профиле и генезисом буроземов.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследования являются почвы заповедника «Басеги» (Пермский край, Гремячинский район). Заповедник расположен в Средне-Уральской физико-географической горной области Уральской страны. Хребет Басеги относится к группе западных гор Среднего Урала и представляет собой горную гряду, которая

сложена метаморфическими породами и относится к области грядово-останцового низкогорья Среднего Урала.

Почвенные разрезы заложены в разных высотно-растительных поясах (подпоясах): горнолесной (15 разрезов на высоте 315–420 м н.у.м.), парковое редколесье (10 разрезов на 557–655 м н.у.м.), субальпийские луга (12 разрезов на высоте 570–646 м н.у.м.), криволесье (8 разрезов на 655–800 м н.у.м.). Для характеристики почвенного покрова использованы данные автора за 2009–2016 гг. [7, 14–18]. В обработке участвовало всего 45 разрезов, использовали классификацию почв России [19].

Применен информационно-логический анализ (ИЛА) [20, 21], который позволяет: построить оптимальную классификацию явлений и параметров для исследования; выявить область значений изучаемого параметра, в которой данное явление устойчиво (специфическое состояние). В основу метода положено представление об измеряемости информации, которая передается изучаемому явлению от факторов и в оценке силы связи между признаками. Степень связи между явлением и фактором определяется показателями: Т (информативность, бит), К (коэффициент эффективности каналов связи). Для определения степени зависимости подтипа бурозема от типа распределения щебня проведено их ранжирование и составлены таблицы абсолютной встречаемости сочетаний различных генетических признаков почв и распределения щебня, а затем рассчитывали матрицу оценок вероятности сочетаний разных состояний.

**Обсуждение результатов.** В зависимости от разных условий формирования выделено шесть элементарных почвообразовательных процессов, накладывающихся на буроземообразование. В связи с этим по преобладанию генетических признаков все буроземы разделены на: элювиированные, ожелезненные, ожелезненно-глееватые, глинисто-иллювиированные, грубогумусированные и грубогумусированно-глееватые.

По содержанию щебня почвы являются слабо, средне и сильно скелетными. В связи с тем, что происходит очень сильное варьирование щебня по профилю, было рассчитано его средневзвешенное значение для анализа его распределения в пространстве по высотнорастительным поясам. Выделены следующие особенности.

Так, для буроземов горнолесного пояса характерно содержание щебня в пределах 18–30%, реже встречается 40–50%. Максимальное и минимальное значение показателя отмечено в буроземе глинисто-иллювиированном на высоте 400 и 315 м соответственно. В парковом редколесье содержание щебня практически в два раза ниже (8–20%), чем в буроземах горнолесного пояса. Причем, накопление щебня в почвах паркового леса зависит от высоты: наибольшее его содержание достигнуто на высоте 655 м, а наименьшее на высоте 557 м в буроземе элювиированном. Под травянистой растительностью субальпийских лугов буроземы по содержанию средневзвешенного содержания щебня – сильнокаменистые (>60%). Кроме того, буроземы глинисто-иллювиированного подтипа имеют высокое содержание щебня не зависимо от высоты расположения на местности. Содержание средневзвешенного значения щебня в ожелезненном подтипе буроземов уменьшается при возрастании высоты над уровнем моря. В буроземах криволесья содержание щебня больше всего варьирует в пространстве и создается максимальная пестрота по данному показателю.

В горных почвах важную роль в почвообразующих процессах играет тип распределения щебня по профилю. В подтипах буроземов встречаются следующие типы распределения: равномерно-элювиальный, прогрессивно-элювиальный, элювиально-иллювиальный, равномерно-аккумулятивный, аккумулятивно-элювиально-иллювиальный, регрессивно-аккумулятивный-регрессивно-элювиальный.

Равномерно-элювиальный тип распределения щебня устойчив в грубогумусированном подтипе бурозема, а менее всего это характерно для элювиированного подтипа (табл. 1). Регрессивно-аккумулятивно-регрессивно-элювиальный тип специфичен для грубогумусированных подтипов. Равномерно-аккумулятивный и аккумулятивно-элювиально-иллювиальный типы распределения щебня наиболее специфичны в буроземах с сочетанием признаков ожелезнения и глееватости. Элювиально-иллювиальный тип распределения щебня по профи-

лю зафиксирован во всех подтипах почв, кроме ожелезненного глееватого. Специфичным этот тип распределения является для грубогумусированного глееватого подтипа бурозема.

Коэффициент эффективности передачи информации (К) отражает тесноту взаимосвязи между типом распределения щебня по профилю и генетическими признаками подтипов почв. Отмечается тесная связь  $K=0,2602$  и высокая общая информативность ( $T=0,605$ ). Наибольшая степень варьирования ( $H(a/b)$ ) характерна для элювиально-иллювиального и равномерно-элювиального типов распределения.

Несмотря на разнообразие типов распределения щебня по профилю их можно объединить в 3 генетических группы, имеющих значение для формирования профиля: ненарушенный профиль, нарушенный профиль, нарастающий кверху.

Первая группа – профиль с ненарушенным сложением по щебню в ходе почвообразования. В «ненарушенных» почвах, где процесс почвообразования протекает интенсивнее, чем выветривание, щебнистость постепенно возрастает с глубиной. Также это указывает на то, что формирование генетических горизонтов профиля проходило в одних экологических условиях, и можно предполагать, что профиль моногенетичен.

Т а б л и ц а 1

Связь между типами распределения щебня и генетическими признаками почв

Тип распределения по профилю	Ряд ГП буроземов по убыванию	Показатели ИЛА, бит			
		P (aj)	H (a/b)	J (a/b)	J(a/b) Pb
Равномерно-элювиальный	Бгр > Бги > Бож > Бэ	0,3659	1,9656	0,4868	0,178
Равномерно-аккумулятивный	Бож-гл > Бож > Бэ	0,0976	1,500	0,9524	0,092
Регрессивно-аккумулятивный-регрессивно-элювиальный	Бэ, Бгр-гл >> Бгр	0,1210	1,3700	1,0824	0,130
Аккумулятивный элювиально-иллювиальный	Бож-гл > Бги > Бож	0,0976	1,5000	0,9524	0,092
Элювиально-иллювиальный	Бгр-гл > Бги > Бож >> Бгр > Бэ	0,2438	2,2463	0,2061	0,050
Прогрессивно-элювиальный	Бож-гл >> Бэ, Бгр	0,0732	1,5848	0,8676	0,063
$H(A)=2,4524; H(B)=2,3271; T=0,6055; K=0,2602$					

*Примечание.*  $H(A)$  – неопределенность изучаемого явления (максимальная неопределенность явление достигает при равно вероятности всех его состояний, единица неопределенности – бит);  $H(B)$  – неопределенность фактора; для каждого ранга  $b_j$  составляется свое распределение явления  $A$  и определяется свое значение вероятности  $P(a_j/b_j)$ ;  $H(a/b)$  – неопределенность явления  $A$  для каждого состояния  $b_j$ ;  $J(a/b_j)$  – информация об явлении  $A$ , содержащемся в  $b_j$ ;  $T(A/B)$  – общая информативность, т.е. количество информации поступающей от фактора  $B$  к явлению  $A$  (бит);  $K(A/B)$  – коэффициент эффективности передачи информации от фактора  $B$  к явлению  $A$ ; ГП – генетические признаки; Бгр-гл – бурозем грубогумусированный глееватый; Бгр – бурозем грубогумусированный; Бги – бурозем глинисто-иллювиальный; Бэ – бурозем элювиальный; Бож-гл – бурозем ожелезненный глееватый; Бож – бурозем ожелезненный.

Вторая группа – в профиле появляется инверсия каменистости. Причины инверсии могут быть различными. В связи с этим выделены три подгруппы по нарушенности профиля. В первой подгруппе почв верхние горизонты являются щебнистыми, затем доля щебня от содержания мелкозема снижается, а с глубиной опять может возрастать. Эта инверсия каменистости может быть связана с внутрипочвенным боковым стоком. Второй вариант нарушенности профиля – инверсия каменистости бимодальная, указывающая на наличие погребенных горизонтов и смену условий почвообразования. Наличие горизонта с обилием щебня в переходной зоне между двумя слоями является маркирующим и говорит о генетической самостоятельности. Третий вариант нарушенности профиля – максимум каменистого материала в верхнем горизонте с постепенным или резким снижением по профилю (аккумулятивный профиль), то есть привнос щебнистого материала происходит с прилегающих склонов. Т.о., нарушенность профиля указывает на полигенетичность почв.

Третья генетическая группа – генезис почв связан с аэральным привносом мелкозема, то есть аэрального происхождения. В таких почвах часто верхняя часть профиля является слабокаменистой или совсем не каменистой. Слабая каменистость верхней части профиля почв связана с поступлением мелкозема с ветром и соответственно, нарастанием профиля кверху. Такое происхождение почв было доказано для буроземов Среднего Урала и Приморья [5, 12, 13].

Определена информационная связь между типом профиля по распределению щебнистого материала и генетическими признаками подтипов буроземов (табл. 2). Так, при ненарушенности профиля почвы более всего вероятно формирование глинисто-иллювирированного подтипа. Инверсия каменистости в большей степени проявляется в подтипах имеющих признаки грубогумусированности, ожелезнения, глееватости. Нарастание профиля вверх наиболее специфично для подтипов, где выражено накопление грубого органического материала.

Т а б л и ц а 2

**Взаимосвязь между типами профиля и генетических признаков буроземов**

Тип профиля по распределению щебня	Ряд ГП буроземов по убыванию	Показатели ИЛА, бит			
		P (aj)	H( a/b)	J (a/b)	J(a/b) Pb
Ненарушенный	Бги > Бгр > Бож > Бэ	0,2885	1,963	0,4191	0,1208
Инверсия каменистости	Бги > Бож-гл, Бож, Бэ, Бгр-гл > Бгр	0,3077	2,3521	0,0326	0,0109
Инверсия каменистости бимодальная	Бгр, Бгр-гл > Бож-гл, Бэ	0,1154	1,9182	0,4665	0,0537
Аккумулятивный	Бож-гл > Бож > Бэ	0,0768	1,5000	0,8847	0,0678
Аэрального привноса	Бгр > Бэ > Бги > Бож	0,2114	1,7896	0,5951	0,1257
H (A) = 2,3847; H (B) = 2,1583; T = 0,3789; K = 0,1756					

*Примечание.* Сокращения см. в табл. 1.

Общая информативность между типом профиля по распределению щебня и генетическими признаками буроземов является высокой (T=0,3789). Отмечается тесная связь эффективности передачи информации (K=0,1756).

Определены специфичные состояния типов профилей для разных высотных ландшафтов (горная тайга, парковое редколесье, луга, криволесье березовое). Общая информативность взаимосвязи составила T=0,2882 бит, а коэффициент эффективности передачи информации – 0,1300. Так, ненарушенный тип профиля буроземов является специфичным для горной тайги и паркового редколесья. Инверсия каменистости, связанная с внутрипочвенным боковым стоком, имеет большую вероятность проявления в подпоясе паркового редколесья, где отмечается крутизна более 5°. Инверсия бимодальная является специфичным состоянием для буроземов, формирующихся под луговой растительностью, которая произрастает на выположенных слабонаклоненных поверхностях. Эти буроземы характеризуются и большей мощностью профиля. Аккумулятивный профиль имеет большую вероятность проявления в буроземах березового криволесья, которое соответствует высоте 650-800 м н.у.м. с уклонами более 10° и где имеется множество курумников. Формирование буроземов аэрального происхождения наиболее специфично на высоте более 600 м, что соответствует высотным ландшафтам субальпийских лугов и березового криволесья. Высокотравная растительность препятствует развитию катастрофической эрозии, и почвы участков склонов между водотоками постепенно нарастают и превращаются в полно профильные почвы с выраженными генетическими горизонтами.

**Заключение.** Анализ распределения щебня в почвах показал, что этот показатель сильно варьирует как в пространстве, так и по профилю почв. Установлена информационно-логическая связь между распределением щебня и формированием генетических признаков буроземов. Выявлено три направления генезиса буроземов по распределению щебня по профилю: классический ненарушенный монопрофиль (преобладают глинисто-иллювирированные подтипы); нарушенный профиль (полигенетичные почвы) с признаками глееватости, грубогумусированности и ожелезнения; эоловое происхождение буроземов при отсутствии щебнистого материала с поверхности и в верхней части профиля, но с признаками грубогумусированности, элювирированности, глинисто-иллювирированности и ожелезнения. Таким образом, распределение щебня в профиле является важной диагностической характеристикой, и помогает определить генезис буроземов, их поли- или моногенетичность.

**Литература**

1. Иванова Е.Н. Почвы Урала // Почвоведение. 1947. № 4. С. 213–227.

2. Retzer J.L. Soil formation and classification of forested mountain lands in the United States // *Soil Science*, 1963. Vol. 96, № 1.
3. Михайлова Р.П., Градусов Б.П. Химико-минералогический состав илистых фракций некоторых горных среднетаежных почв Урала // *Почвоведение*. 1969. № 6. С. 96–107.
4. Владыченский А.С. Особенности горного почвообразования. М.: Наука, 1998. 190 с.
5. Карпачевский Л.О. Почвообразование в горах Сихотэ-Алиня. М.: ГЕОС, 2012. 138 с.
6. Fu G., Shen Z., Zhang X., Yu C., Zhou Y. and Yang P., Response of ecosystem respiration to experimental warming and clipping at daily time scale in an alpine meadow of Tibet // *Journal of Mountain Science*. 2013. Vol. 10. P. 455–463.
7. Samofalova I.A., Rogova O.B., Luzyanina O.A. Diagnostics of soils of different altitudinal vegetation belts in the Middle Urals according to group composition of iron compounds // *Geography and Natural Resources*. 2016. Vol. 1. P. 71–78.
8. Розанов Б.Г. Почвенный покров земного шара. М.: Изд-во МГУ, 1977. 248 с.
9. Михайлова Р.П. Микроморфологические и химические особенности бурых грубогумусных почв центрально-горной полосы Среднего Урала // *Почвоведение*. 1976. № 6. С. 10–15.
10. Фирсова В.П. Бурые горно-лесные почвы Урала // *Почвоведение*. 1991. № 4. С. 47–58.
11. Тифлов М.А. К познанию горных лугов Урала // *Тр. Пермского СХИ*. 1951. Т. 13. С. 23–40.
12. Ильина Л.С., Кринари Г.А., Карпачевский Л.О., Морозов В.П. Аэральный привнос минеральных веществ в лесные почвы Сихотэ-Алиня // *Почвоведение*. 1993. № 3. С. 5–13.
13. Карпачевский М.Л., Шевченко Е.М. Соотношение литогенных и ценогенетических факторов при формировании бурых лесных почв Среднего Урала // *Почвоведение*. 1997. № 1. С. 22–30.
14. Samofalova I., Luzyanina O., Sokolova N. Gravelly as diagnostic indicator for soils under subalpine meadows (for example reserve "Basegi") // *Book of proceedings: 9th International Soil Science Congress on «The Soul of Soil and Civilization» 14-16 Oktober, 2014, Side, Antalya, Turkey*. P. 443–447. <http://www.soil2014.com>.
15. Самофалова И.А. Разнообразие почв низкогорных ландшафтов и особенности их формирования на западном макросклоне Среднего Урала (заповедник «Басеги») // *Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник*. 2017. № 3 (19). С. 10-17.
16. Самофалова И.А., Шутов П.С. Геосистемно-бассейновый подход как основа изучения структуры почвенного покрова // *Вестник АГАУ*. 2017. № 1. С. 49–57.
17. Samofalova I.A. Geo-modeling of soil cover in inaccessible areas (Perm Region, the Middle Urals) // *International Conference "Global Soil Map 2017". Proceedings. Moscow, Russia, July 4-6, 2017*. М.: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Agrarian-Technological Institute, RUDN University, 2017. P. 77.
18. Самофалова И.А., Лузянина О.А., Соколова Н.В. Морфолого-генетические особенности почв в субальпийском поясе (Средний Урал) // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2014. № 1 (60). Часть I. С. 24-28.
19. Полевой определитель почв России. – М.: Почв. инст. им. В.В. Докучаева, 2008. – 182 с.
20. Пузаченко Ю.Т., Карпачевский Л.О., Взнуздаев Н.А. Возможности применения информационно-логического анализа при изучении почвы на примере ее влажности // *Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения*. М.: Наука, 1970. С. 121–130.
21. Самофалова И.А. Информационно-логический анализ дифференциации почвенного покрова высотных геосистем на Среднем Урале // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2017. № 11 (157). С. 105–114.

## ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF THE GRAVEL IN THE PROFILE AND THE GENESIS OF THE BROWN SOILS (MEDIUM URAL, BASEGI RIDGE)

I.A. Samofalova

Perm State Agrarian and Technological University, Perm, samofalovairaida@mail.ru

**Summary.** Six types of crushed stone distribution by profile are defined, which are combined into three genetic groups. An information-logical connection was established between the distribution of crushed stone and the formation of genetic characteristics of Brown soils, which made it possible to identify three directions of the genesis of the Brown soils: the classical undisturbed mono-profile; broken profile (polygenetic soils); eolian origin of brown soils in the absence of gravelly material in the upper part of the profile.

**Keywords:** Brown soils, genesis, genetic features, profile distribution, gravel, general informativity, mountain soils, type of profile, inversion, altitude belt.



## РЕГИОНАЛЬНЫЕ И ЗОНАЛЬНО-ПРОВИНЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЧЕРНОЗЁМОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Е.Н. Смоленцева

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, smolentseva@issa.nsc.ru

**Аннотация.** Показаны некоторые специфические особенности состава и свойств чернозёмов Западной Сибири в региональном и зонально-провинциальном аспектах. В соответствии с новой классификацией почв России (2004), выделены типы и подтипы чернозёмов. Дана сравнительная характеристика распределения в них гумуса и карбонатов, а также гранулометрического состава.

**Ключевые слова:** Чернозём, гумусовый профиль, карбонатный профиль, гранулометрический состав, Западная Сибирь, классификация почв.

Черноземы – главный автоморфный тип почв степной и лесостепной зон Западной Сибири (ЗС). Они имеют здесь широкое распространение и формируются в различных экологических условиях. Общая площадь западно-сибирских чернозёмов достигает 14 500 тыс. га, или 6,3% от всего земельного фонда ЗС [1]. Чернозёмы играют важнейшую роль в сельскохозяйственном производстве: они составляют основу пахотного фонда и являются лучшими почвами региона для производства товарного зерна. Чернозёмы ЗС весьма интересны и в научном отношении, ибо они имеют сложный генезис со своеобразной «наложенно-наследственной» эволюцией [1]. В.А. Хмелёв также разделил западно-сибирские чернозёмы на две эволюционно-генетические группы: палеогидроморфные и палеоавтоморфные [1]. Палеогидроморфные (начально-гидроморфные) чернозёмы приурочены к пониженным слабодренированным озёрно-аллювиальным равнинам в западной и центральной частях региона. Палеоавтоморфные (постоянно субэральные) чернозёмы формируются на мощной (более 50 м) толще субэральнo-лессовых отложений предгорных платообразных и возвышенных равнин юго-восточной хорошо дренированной части ЗС. Сложные геолого-геоморфологические условия и литогенная неоднородность ареала чернозёмов ЗС обусловили деление их не только на лесостепную и степную почвенные зоны – климатогенные пространственные общности – но и на провинции: Западно-Сибирскую и Предалтайскую [2,3].

В предыдущих классификациях [4] подтипы чернозёмов рассматривались как подзональные географические группы с неопределённой диагностикой, основанной на тенденциях изменения гумусовых аккумуляций и глубины вскипания. Ранее на территории ЗС выделялись все подтипы чернозёмов: оподзоленные, выщелоченные, типичные, обыкновенные, южные [1, 5]. Подтипы отличались между собой по степени развития гумусового профиля и глубине выщелачивания карбонатов [4]. В настоящее время показано отсутствие закономерности и причины этого в отношении пространственных изменений количественных показателей гумусовых аккумуляций и глубины вскипания от НС1 [6,7,8]. Напротив, весьма информативным для характеристики черноземов и их связей с современным климатом является гумусовый и карбонатный профили [7]. Эти важные особенности чернозёмов рассматривались преимущественно на материале европейского ареала чернозёмной области России. Чернозёмы Западной Сибири с позиций новых диагностических критериев оказались неизученными. Так, например, отсутствует информация о региональных особенностях типодиагностических горизонтов западно-сибирских чернозёмов и типах строения их карбонатных профилей. Не изучались также эти показатели в чернозёмах в зонально-провинциальном аспекте.

**Цель представленной работы** – провести сравнительно-географический анализ некоторых морфогенетических свойств чернозёмов, в том числе, диагностически значимых для определения их таксономического положения, в степной и лесостепной зонах и соответствующих почвенных провинциях ЗС.

**Объекты и методы.** В работе были использованы 20 почвенных объектов, расположенных в пределах различных геоморфоструктур ЗС, в том числе 10 эталонных разрезов, зало-

женных нами в 2010–2017 годах под естественной растительностью и имеющих привязку по GPS. Ещё для 10 почвенных разрезов использовались литературные данные [5, 9–11]. Географическая привязка этих разрезов проводилась по указанному в описании административному району и населённому пункту. Изучались следующие параметры: морфология типодиагностических горизонтов, в том числе формы карбонатных новообразований, гумусовый профиль (содержание гумуса и его распределение по профилю), карбонатный профиль (содержание карбонатов и их распределение) и гранулометрический состав. Количественная характеристика гумусового и карбонатного профилей представлена в виде генерализованных кривых [6]. Использованное ранее разделение черноземов на типы и подтипы [4] в рамках данной работы не учитывались. Зонально-провинциальное районирование чернозёмной области ЗС взято по [3].

**Результаты и их обсуждение.** В настоящее время в основу диагностики типов чернозёмов положен типодиагностический горизонт АU (тёмногумусовый) и его сочетание с такими срединными горизонтами как: глинисто-иллювиальный (ВI), аккумулятивно-карбонатный (ВСА) и текстурно-карбонатный (САТ) [12, 13]. Проведённые исследования показали, что цвет и структура горизонта АU целинных западно-сибирских чернозёмов имеет значительное сходство с европейскими аналогами [14]. Для горизонта характерен чёрный или очень тёмно-серый цвет (индекс цвета сухого образца по шкале Манселла 10 YR 2/1 и 10 YR 3/1), порошисто-зернистая копрогенная структура [15]. Горизонт АU чернозёмов ЗС отличается от европейских меньшей мощностью. В исследованных нами чернозёмах она варьировала от 25 до 55 см (табл. 1). В целом, по имеющимся для ЗС морфометрическим данным [1, 11 и др.], мощность гумусового слоя (А+АВ) чернозёмов колеблется от 35 до 65 см, реже – от 70 до 85 см. Чернозёмы с наиболее мощным гумусовым горизонтом приурочены к Предалтайской равнине. У европейских аналогов [7, 8] мощность гумусовой толщи составляет 60–90 см, иногда до 110 см. Такое отличие обусловлено региональной спецификой гидро-термического режима чернозёмной области ЗСР, которое отражается на количественных параметрах гумусово-аккумулятивного процесса и к специфике профильного распределения гумуса и его запасов [1].

В пределах чернозёмной области ЗС нами выделены следующие типы чернозёмов: глинисто-иллювиальные, собственно чернозёмы и чернозёмы текстурно-карбонатные. Глинисто-иллювиальные чернозёмы помимо АU характеризуются срединным глинисто-иллювиальным горизонтом ВI, морфологические свойства которого в ЗС соответствуют предложенным диагностическим критериям. Для типа чернозёмов диагностическое значение имеет аккумулятивно-карбонатный горизонт ВСА. Наиболее часто встречающаяся в ЗС форма выделения в нём педогенных карбонатов – псевдомицелий. В более аридных условиях формируются диффузно-рассеянные карбонатные новообразования, реже встречаются сегрегационные формы. По форме педогенных карбонатов мы диагностировали следующие модификации горизонта ВСА: мицеллярно-карбонатный ВСА<sub>mc</sub>, дисперсно-карбонатный ВСА<sub>dc</sub> и сегрегационно-карбонатный ВСА<sub>nc</sub>. В отличие от европейской территории России (ЕТР), где карбонаты чаще всего присутствуют в нижней части гумусового горизонта, в западно-сибирских чернозёмах, особенно в лесостепи, между гумусовым и карбонатным горизонтами присутствует бескарбонатная зона, мощность которой может достигать 80 см. Таким образом, в условиях ЗС тёмногумусовый горизонт чаще всего не содержит карбонатов, а гумусово-аккумулятивная и карбонатная зоны в профиле почв разобщены. Глубина вскипания чернозёмов ЗСР составляет 40–135 см (табл. 1) и зависит от локальных условий увлажнения. Для чернозёмов ЕТР глубина вскипания составляет 60–105 см, а карбонаты встречаются в нижней части гумусового горизонта, так что гумусовая и карбонатная зоны в профиле чернозёмов перекрываются [7, 8].

Согласно современным диагностическим критериям [13] для типа чернозёмов допускается смещение верхней границы ВСА до 15 см вниз от нижней границы АU, а бескарбонатную зону рекомендуется не учитывать при диагностике. У западно-сибирских чернозёмов мощность бескарбонатной толщи составляет 20–80 см, так что её нельзя не учитывать при диаг-

ности. С учётом диагностических признаков бескарбонатная толща во всех чернозёмах ЗС является, по нашему мнению, структурно-метаморфическим горизонтом ВМ [14]. В чернозёмах ЗС этот срединный горизонт имеет ряд переходных генетических признаков, например, признаки элювиирования (ВМel) или осолодения в виде пылеватых скелетан в его верхней части и иллювиирования глины (ВМi) в нижней. В чернозёмах ЕТР элювиирование накладывается на гумусовый горизонт [12], в западно-сибирских чернозёмах оно присутствует в горизонте АВ или в верхней части ВМ. Встречается также ВМ с признаками солонцеватости (ВМsn), что проявляется в структуре почвы и глянцевых кутанах на гранях педов. Все вышеназванные признаки являются диагностически значимыми и служат основанием для выделения соответствующих подтипов чернозёмов. Таким образом, бескарбонатная толща является региональной особенностью чернозёмов ЗС. Наличие её не влияет на типовую принадлежность почв, однако дополнительные генетические признаки, которые она несёт, играют роль для подтиповой диагностики. Поэтому горизонт ВМ имеет диагностическое значение для определения подтиповых характеристик. Согласно диагностическим признакам по международной классификации [16], разрыв между гумусовой и карбонатной зонами в чернозёмах (Chernozems) допускается на величину не более 50 см. Это означает, что присутствие безгумусовой бескарбонатной зоны в чернозёмах встречается в различных регионах мира.

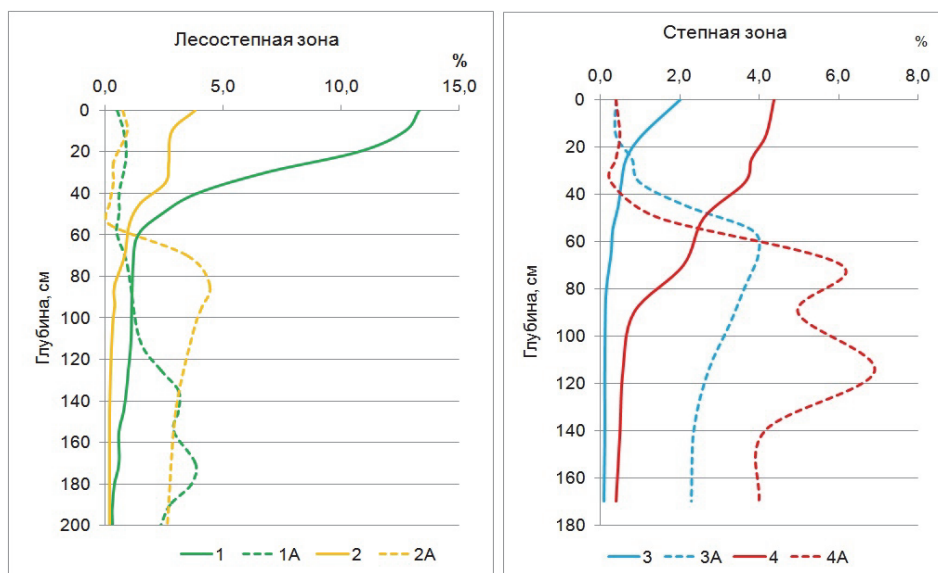


Рис. 1. Гумусовые и карбонатные профили зонально-провинциальных групп чернозёмов Западной Сибири: Западно-Сибирская провинция: 1, 3 – содержание гумуса; 1А, 3А – содержание CO<sub>2</sub> карбонатов; Предалтайская провинция: 2, 4 – содержание гумуса; 2А, 4А – содержание CO<sub>2</sub> карбонатов

Т а б л и ц а 1

**Некоторые морфометрические показатели чернозёмов Западной Сибири и европейской территории России (ЕТР)**

Показатель (от-до), см	Лесостепная зона		Степная зона		ЕТР
	ЗСП*	ПП**	ЗСП*	ПП**	
Мощность AU	28–32	25–34	25–30	55	80
AU+AUB	30–44	44–55	32–40	38–75	90
Мощность бескарбонатной зоны	21–28	31–80	23–30	2–20	0–15
Глубина вскипания	58–65	75–135	55–70	40–55	60–105
Карбонатные новообразования	Псевдомицелий	Псевдомицелий	Диффузно-рассеянные	Псевдомицелий, белоглазка	Псевдомицелий, белоглазка

Почвенные провинции: \*ЗСП – Западно-Сибирская; \*\*ПП – Предалтайская.

Несколько слов о номенклатуре чернозёмов. Название подтипа «криогенно-мицелярный», на наш взгляд, не слишком удачное. С одной стороны – в чернозёмах ЗС отсутствует сезонная льдистая мерзлота [5], которая обуславливает формирование этого подтипа. С другой стороны, нет достоверных признаков, отличающих криогенный карбонатный псевдомицелий от миграционного. Поэтому мы предлагаем выделять мицелярный подтип чернозёмов, по преобладающему типу карбонатных новообразований в горизонте ВСА, аналогично с дисперсно- или сегрегационно-карбонатным.

Чернозёмы Предалтайской провинции (ПП) лесостепной и степной зон по сравнению с таковыми в Западно-Сибирской провинции (ЗСП) имеют большую мощность горизонта АU и гумусовой толщи в целом (табл. 1). В то же время, их гумусовая толща значительно меньше, чем у чернозёмов ЕТР, принимаемых за эталон чернозёмов. Относительно укороченная мощность гумусового профиля считается региональным (фациальным) признаком западно-сибирских чернозёмов [1]. Особенно это проявляется в чернозёмах ЗСП степной зоны. Только чернозёмы предгорий и низкогорий Алтая, по мощности АU (АU+АUB) приближаются к европейским аналогам [1].

Карбонатный профиль имеет черты сходства чернозёмов так в зональном, так и в провинциальном ряду (рис. 1). В степной зоне чернозёмы имеют более растянутую миграционную часть карбонатного профиля, чем в лесостепной. В то же время в обеих зонах чернозёмы ПП имеют два максимума в пределах аккумулятивной зоны, где количество карбонатов составляет 8,5–12%. Карбонатный профиль чернозёмов ЗСП характеризуется слабовыраженной миграционной зоной и чётко выраженным аккумулятивно-карбонатным горизонтом, который расположен в аккумулятивной части карбонатного профиля. Верхняя граница зоны аккумуляции карбонатов совпадает с линией вскипания от НС1. В то же время есть отличия между чернозёмами лесостепной и степной зон по глубине вскипания и расположению максимумов, что связано с условиями климатического увлажнения. В лесостепной зоне в обеих провинциях содержание карбонатов в почвообразующей породе составляет 4–6%.

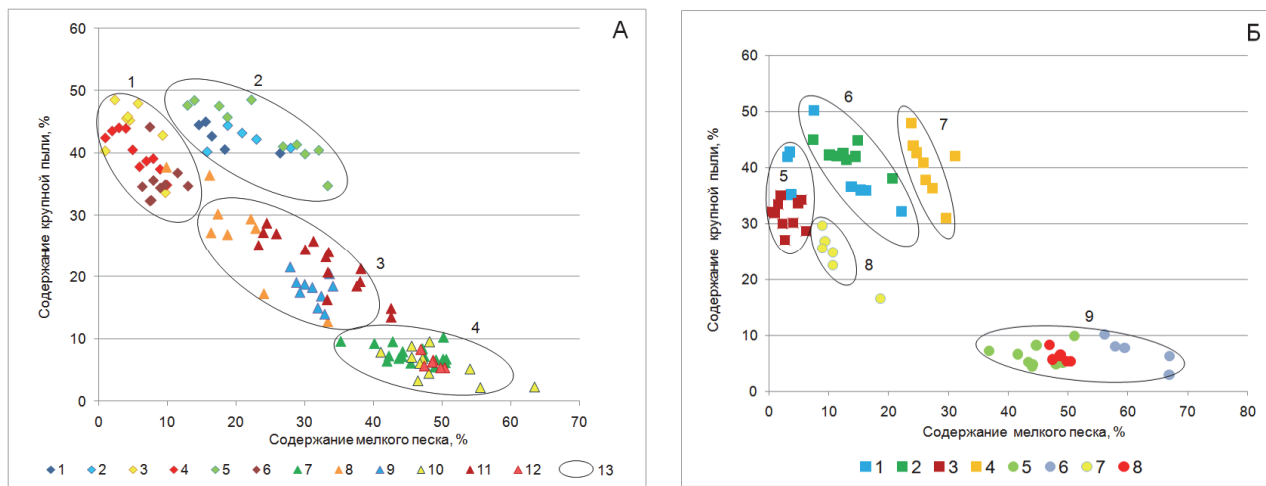


Рис. 2. Распределение зонально-провинциальных групп чернозёмов в пространстве двух признаков:  
 А – лесостепная зона: 1–6 – чернозёмы Предалтайской провинции (ареалы 1, 2); 7–12 – чернозёмы Западно-Сибирской провинции (ареалы 3,4), 13 – ареалы сходства. Б – степная зона: 1–4 – чернозёмы Предалтайской провинции (ареалы 5–7); 5–8 – чернозёмы Западно-Сибирской провинции (ареалы 8, 9)

Литологические условия чернозёмной области в ЗС значительно сложнее, чем в ЕТР. Чернозёмы ЕТР формируются преимущественно на лёссовидных суглинках и глинах, особенно гранулометрического состава (ГС) которых определяются соотношением крупнопылевой и илистой фракций, содержание фракции мелкого песка составляет 3–6% [17]. Чернозёмообразование в ЗС помимо лёссовидных субстратов происходит на озёрно-аллювиальных отложениях, что обуславливает гетерогенность почв по ГС. Оценка гетерогенности ГС зонально-провинциальных групп чернозёмов Западной Сибири выявила опре-

делённые пространственные закономерности (рис. 2). В ГС чернозёмов Предалтайской провинции также, как в восточно-европейских, преобладают крупно-пылеватая и илистая фракции, однако значительно варьирует содержание фракции мелкого песка. В ЗСП особенности ГС определяются долей фракции мелкого песка, которая зачастую преобладает в составе твёрдой фазы [2]. Лесостепная зона характеризуется относительно однородной структурой ГС чернозёмов на территории ПП: фракция крупной пыли преобладает, содержание её варьируется от 30 до 50%, содержание фракции мелкого песка составляет от 1 до 35%. При этом вся компактная совокупность делится на две группы (ареалы сходства 1 и 2), различающиеся по содержанию мелкого песка. Чернозёмы ЗСП более гетерогенны по структуре ГС (ареалы сходства 3 и 4), что обусловлено варьированием доли мелкого песка, который всегда преобладает, в составе твёрдой фазы. В степной зоне обнаружено аналогичное разделение чернозёмов: в ГС почв ПП также преобладает фракция крупной пыли (35–50%), содержание мелкого песка 1–30%, при относительно меньшем варьировании. Однако выделяется три компактных ареала сходства (5, 6, 7), что свидетельствует о наличии внутривинциальных дифференцирующих факторов. В ЗСП присутствуют резко отличающаяся по ГС совокупность (ареал сходства 8), которая по ГС ближе к чернозёмам ПП. Она показывает тяжелосуглинистые чернозёмы Омской области. Очевидно, что все выделенные совокупности не случайны, но в то же время не являются следствием географических закономерностей, обусловленных климатом.

**Выводы.** 1. В пределах чернозёмной области ЗС выделены все типы чернозёмов: чернозёмы глинисто-иллювиальные, собственно чернозёмы и чернозёмы текстурно-карбонатные. В типе чернозёмов выделяются подтипы криогенно-мицеллярные, миграционно-мицеллярные, сегрегационно-мицеллярные, дисперсно-карбонатные. 2. Региональной особенностью чернозёмов ЗС, преимущественно лесостепных, является бескарбонатная зона между гумусовой толщей и аккумулятивно-карбонатным горизонтом. Бескарбонатная зона по диагностическим признакам является структурно-метаморфическим горизонтом ВМ. 3. Также региональным признаком западно-сибирских чернозёмов считается укороченная, по сравнению с европейскими аналогами, мощность гумусового профиля и регрессивно-аккумулятивный тип распределения гумуса. 4. Карбонатный профиль в большей степени отражает провинциальные особенности западно-сибирских чернозёмов, зональные отличия проявляются в его количественных характеристиках. 5. По ГС чернозёмы образуют совокупности, отражающие, прежде всего, провинциальное районирование. Провинциальные отличия внутри каждой из зон значительнее, чем между зонами. Чернозёмы ЗСП характеризуются значительной пространственной гетерогенностью по ГС, Предалтайской провинции – более гомогенны.

## Литература

1. Хмелёв В.А. Лёссовые чернозёмы Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1989. 201 с.
2. Агрофизическая характеристика почв Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1976. 541 с.
3. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1 : 2500000 / науч. ред.: Г.В. Добровольский, И.С. Урусевская. М.: Талка+, 2013. 16 л.
4. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
5. Чернозёмы: свойства и особенности орошения. Новосибирск: Наука, 1988. 256 с.
6. Лебедева И.И., Овечкин С.В. Карбонатный профиль восточно-европейских чернозёмов // Почвоведение: аспекты, проблемы, решения. М.: Почв. инст-т им. В.В. Докучаева. 2003. С. 34–45.
7. Лебедева И.И. Гумусовые и карбонатные аккумуляции как диагностические критерии в чернозёмах Восточной Европы // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2011. Вып. 68. С. 3–18.
8. Щеглов Д.И. Чернозёмы Центральных областей России: современное состояние и направление эволюции // Чернозёмы Центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования: сб. мат-лов научн. конф-ции. Воронеж: Научная книга, 2017. С. 5–18.
9. Градобоев Н.Д., Прудникова В.М., Сметанин И.С. Почвы Омской области. Омск: Омск. книж. изд-во, 1960. 370 с.

10. Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Т. 1: Биогеоценозы и их компоненты / под ред. Ковалёва Р.В. Новосибирск: Наука, 1974. 308 с.
11. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Почвенные ресурсы Кемеровской области и основы их рационального использования. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния РАН, 2013. 476 с.
12. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
13. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
14. Смоленцева Е.Н. Генетические особенности чернозёмов Западной Сибири в свете новой классификации почв России // Современное состояние черноземов: материалы междунар. научн. конф. Ростов н/Д: Изд-во Южн. федер. ун-та, 2013. С. 278–280.
15. Сапрыкин О.И., Смоленцева Е.Н. Морфохромотическая характеристика почв степного биотома Западной Сибири в системе диагностических признаков // Почва как базовый компонент наземных экосистем: сб. мат-лов Всеросс. научн. конф. Новосибирск: Окарина, 2013. С. 92–94.
16. IUSS Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources 2006. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO. Rome. 114 p.
17. Лебедева И.И. Гранулометрический профиль чернозёмов Восточной Европы и его дифференциация // Почвоведение. 1996. № 7. С. 821–829.

## REGIONAL AND ZONAL-PROVINCIAL FEATURES OF CHERNOZEMS OF WESTERN SIBERIA

E.N. Smolentseva

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, smolentseva@issa.nsc.ru

**Summary.** *Some specific features chernozems of Western Siberia in the regional and zonal-provincial aspects are shown. In accordance with the new classification of soils in Russia (2004), types and subtypes of chernozems are distinguished. Comparative characteristics of the distribution of humus and carbonates in them, as well as granulometric composition, are given.*

**Keywords:** *Chernozem, humus profile, carbonate profile, granulometric composition, Western Siberia, soil classification.*

## СОСТАВ И СТРУКТУРА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТЕРРИТОРИЙ ГУМИДНОГО СЕКТОРА КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ

Б.А. Смоленцев, Е.Н. Смоленцева

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, pedolog@ngs.ru,

**Аннотация.** Установлено, что почвенный покров территории с гумидным климатом Кузнецкого Алатау (КА) состоит из 8 отделов, 21 типа и 36 подтипов почв. По площади преобладают бурозёмы типичные и их мозаики с литозёмами серогумусовыми. Выявлены некоторые закономерности пространственного распределения почв, в частности элементы вертикальной поясности. На структуру почвенного покрова (СПП) влияет, прежде всего, литоморфоструктура горных хребтов КА, определяющая формирование неупорядоченных мозаичных комбинаций и сложных сочетаний-мозаик. В СПП преобладают литолого-дифференцированные ПК, состав которых зависит от мощности мелкозёма.

**Ключевые слова:** Кузнецкий Алатау, бурозём, горные почвы, гумидное почвообразование, разнообразие почв, структура почвенного покрова.

**Введение.** Степень изученности почвенного покрова гумидного сектора Алтае-Саянской горной области (АСГО) не соответствует информационным требованиям современной науки и практики. Основные представления о почвах и почвенном покрове этого обширного региона изложены в работах 70-х годов прошлого века [1, 2, 3]. За более чем сорокалетний период информация обновлялась слабо. Так, в 21 веке были дополнены и расширены знания лишь об отдельных компонентах почвенного покрова этой территории и о его пространственной организации [4, 5, 6, 7, 8]. Кроме того, в связи со сменой методологического подхода в области диагностики и классификации почв [9, 10], требуется корректировка сложившихся ранее концепций о пространственной организации почвенного покрова (ПП) в гумидных условиях АСГО в соответствии с современными представлениями и региональными особенностями этого региона. Наименее изученным в почвенном отношении регионом гумидного сектора АСГО является горный массив Кузнецкий Алатау. В связи с этим целью нашей работы было изучить компонентный состав и структуру ПП горно-таёжного пояса и высокогорной области массива Кузнецкий Алатау.

**Объекты и методы.** Кузнецкий Алатау (КА) – это вытянутый в субмеридиональном направлении северный отрог АСГО. В геоморфологическом отношении он представляет собой совокупность средневысотных горных хребтов, разобщённых сложной системой глубоких речных долин. В основании горные хребты сложены известняками, кварцитами, кремнистыми и глинистыми сланцами протерозоя и нижнего палеозоя, прорванными многочисленными интрузиями габбро, диоритов, гранитов, сиенитов [11]. Часто встречаются эффузивные породы от ультраосновных до кислых: трахибазальты, риолиты, андезиты. Преобладающие почвообразующие породы – четвертичные бурые делювиальные бескарбонатные глины и суглинки. В высокогорной области в качестве литогенной основы почв выступает также щебнистый элюво-делювий коренных пород. В местах контакта с прилегающими равнинными территориями встречаются лессовидные карбонатные суглинки. Характерной чертой морфоструктуры КА является его ассиметричное строение со сдвинутым к западу главным водоразделом, который довольно круто обрывается в сторону Кузнецкой котловины серией коротких уступов высотой 400–800 м [11].

Такая морфоструктура, а также положение горного массива поперёк воздушных течений, осуществляющих осадкоперенос (с запада на восток) является причиной резкого различия климатических условий на хорошо увлажняемом западном и относительно сухом восточном макросклоне. Именно на западном макросклоне формируются гумидные условия и соответствующие ландшафты. Климат гумидного сектора КА характеризуется как континентальный холодный и влажный. Среднегодовая температура воздуха здесь варьируется от  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $+1,4^{\circ}\text{C}$  в зависимости от высоты местности [3]. Количество осадков также колеблется от 800 до 1500 мм, максимум их приходится на летний период (июнь – август) [7]. Распределение

растительности в пределах КА носит поясной характер. На гумидных территориях его западного макросклона выделяют горно-лесной, субальпийский (подгольцовый) и горно-тундровый (гольцово-альпийский) растительные пояса [12, 13]. Для гумидного сектора КА характерно большое разнообразие болот: от низинных до переходных сфагновых с различной мощностью торфяной залежи [14].

Почвенный покров изучался в 2014–2015 гг. Всего было заложено 175 точек копания, в том числе 63 основных разреза, из которых были взяты образцы и проведены лабораторные анализы. Диагностика почв проводилась по [9, 10], анализ почвенных образцов – по общепринятым в почвоведении методам [15]. Неоднородность ПП оценивалась по коэффициентам контрастности, расчлененности, сложности и неоднородности [16, 17].

**Результаты и обсуждение.** Компонентный состав. В почвенном покрове КА представлены все четыре высших таксономических ранга почвенной классификации: стволы постлитогенного, синлитогенного, первичного и органогенного почвообразования [10]. Всего на обследованной территории выделено 8 отделов, 21 тип и 36 подтипов почв (табл. 1), что свидетельствует о значительном почвенном разнообразии. Кроме того, были выделены почвенные комбинации (ПК) – закономерные группировки различных почв между собой.

ПП горно-лесного пояса (ГЛП) имеет вертикальную дифференциацию. Самую нижнюю ступень образуют текстурно-дифференцированные почвы. Были обнаружены два основных типа: дерново-подзолистые и серые. Они встречаются в нижнем подпоясе ГЛП под черневой тайгой и берёзовыми лесами. На более высоких гипсометрических уровнях ГЛП формируются структурно-метаморфические почвы, среди которых преобладают бурозёмы [8, 18] (рис. 1). В горно-таёжном поясе они встречаются на склонах различной экспозиции под всеми типами леса.

Таблица 1

Компонентный состав почвенного покрова гумидных территорий Кузнецкого Алатау

Название типа и подтипа почвы	Формула профиля
<b>СТВОЛ ПОСТЛИТОГЕННОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ</b>	
<i>Отдел: Текстурно-дифференцированные почвы</i>	
Тип: Дерново-подзолистые (AY-EL-BEL-BT-Cca)	
Дерново-подзолистые типичные	AY-EL-BEL-BT-Cca
Дерново-подзолистые глееватые	AY-EL-BEL-BTg-Cg,ca
Дерново-подзолистые поверхностно-турбированные	AY-ELtr-BELtr-BT-Cca
Дерново-подзолистые останцовые	AY-ELct-BEL-BT-Cca
Тип: Серые (AY-AEL-BEL-BT-C)	
Серые типичные	AY-AEL-BEL-BT-Cca
Серые глееватые	AY-AEL-BEL-BTg-Cg,ca
Серые поверхностно-турбированные	AY-AELtr-BELtr-BT-Cca
<i>Отдел: Структурно-метаморфические почвы</i>	
Тип: Бурозёмы (AY-BM-C)	
Бурозёмы типичные	AY-BM-C
Бурозёмы глинисто-иллювирированные	AY-BMi-C
Бурозёмы глееватые	AY-BMg-Cg
Бурозёмы тёмнопрофильные	AYu-BMu-Cu
Тип: Бурозёмы грубогумусовые (AY-BM-C)	
Бурозёмы грубогумусовые типичные	AO-BM-C
Бурозёмы грубогумусовые элювирированные	AOel-BM-C
Бурозёмы грубогумусовые глееватые	AO-BMg-Cg
Тип: Серые метаморфические (AY-AEL-BM-C)	
Серые метаморфические типичные	AY-AEL-BM-C
Серые метаморфические глинисто-иллювирированные	AY-AEL-BMi-C
<i>Отдел: Криометаморфические</i>	
Тип: Криометаморфические	
Криометаморфические типичные	AO-CRM
<i>Отдел: Глеевые</i>	
Тип: Глеезёмы (O-G-CG)	
Глеезёмы типичные	O-G-CG

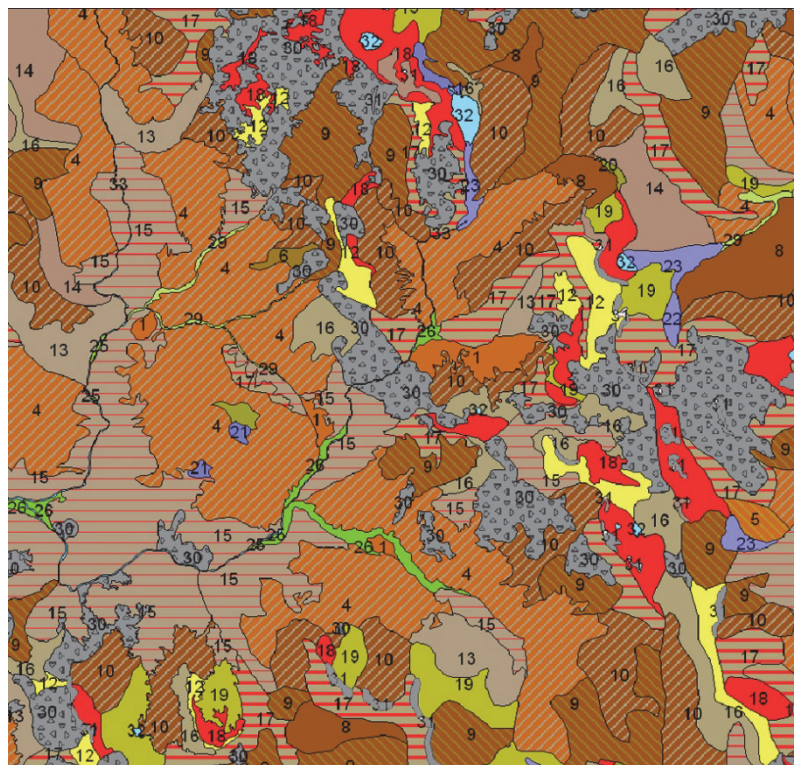


Название типа и подтипа почвы	Формула профиля
Глеезёмы окислено-глеевые	O-Gox-G-CG
Тип: Торфяно-глеезёмы (T-G-CG)	
Торфяно-глеезёмы типичные	T-G-CG
Тип: Перегнойно-глеевые (H-G-CG)	
Перегнойно-глеевые типичные	H-G-CG
<i>Отдел: Литозёмы</i>	
Тип: Литозёмы грубогумусовые (AO-(C)-R)	
Литозёмы грубогумусовые типичные	AO-C-R
Литозёмы грубогумусовые метаморфизованные	AO-Cm-R
Тип: Литозёмы серогумусовые (AY-(C)-R)	
Литозёмы серогумусовые типичные	AY-C-R
Литозёмы серогумусовые метаморфизованные	AY-Cm-R
Литозёмы серогумусовые тёмнопрофильные	AYu-Cu-R
<b>СТВОЛ СИНЛИТОГЕННОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ</b>	
<i>Отдел: Аллювиальные почвы</i>	
Тип: Аллювиальные гумусовые (AY-C <sup>~</sup> )	
Аллювиальные гумусовые типичные	AY-C <sup>~</sup>
Тип: Аллювиальные перегнойно-глеевые (H-G-CG <sup>~</sup> )	
Аллювиальные перегнойно-глеевые типичные	H-G-CG <sup>~</sup>
Тип: Аллювиальные торфяно-глеевые	
Аллювиальные торфяно-глеевые типичные	T-G-CG <sup>~</sup>
<b>СТВОЛ ПЕРВИЧНОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ</b>	
<i>Отдел: Слаборазвитые почвы</i>	
Тип: Петрозёмы (O-R)	
Петрозёмы типичные	O-R
Тип: Петрозёмы гумусовые (W-R)	
Петрозёмы гумусовые типичные	W-R
Тип: Слоисто-аллювиальные (O-C <sup>~</sup> )	
Слоисто-аллювиальные типичные	O-C <sup>~</sup>
Тип: Слоисто-аллювиальные гумусовые (W-C <sup>~</sup> )	
Слоисто-аллювиальные гумусовые типичные	W-C <sup>~</sup>
<b>СТВОЛ ОРГАНОГЕННОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ</b>	
<i>Отдел: Торфяные почвы</i>	
Тип: торфяные олиготрофные (TO-TT)	
Торфяные олиготрофные типичные	TO-TT
Тип: торфяные эутрофные (TE-TT)	
Торфяные эутрофные типичные	TE-TT
Тип: торфяные эутрофные глеевые (TE-TT-G)	
Торфяные эутрофные глеевые типичные	TE-TT-G

Кроме того, бурозёмы обнаружены в субальпийском поясе, где они развиваются под высокотравными субальпийскими лугами. В местах близкого залегания к поверхности углеродосодержащих глинистых сланцев образуются бурозёмы тёмнопрофильные [18]. К участкам с малой мощностью рыхлых отложений (10-30 см) приурочены литозёмы серогумусовые. В горно-тундровом поясе преобладают различные типы литозёмов. Под кустраничковой и мохово-лишайниковой тундрами формируются литозёмы грубогумусовые, под травянистыми сообществами – литозёмы серогумусовые. Выделены также несколько типов слаборазвитых почв (табл.1). В составе ПП всех природных поясов постоянными компонентами являются почвы отдела глеезёмов и органогенные почвы. Они приурочены к местам с высоким поверхностным и грунтовым увлажнением, в результате чего происходит оглеение минеральных почвенных горизонтов, а также образование и аккумуляция различных видов торфа. Аллювиальные почвы также встречаются во всех поясах и приурочены к долинам основных рек КА (рис. 1).

Структура почвенного покрова. Фоновыми комбинациями ПП на выровненных водоразделах и склонах в нижнем подпоясе ГПП под черневой тайгой и берёзовыми лесами, согласно [4, 5], являются сочетания дерново-подзолистых и серых почв между собой и с их полу-гидроморфными аналогами. На склонах ГПП более высоких позиций в СПП преобладают

сложные сочетания, образованные бурозёмами и серыми метаморфическими почвами с их глееватыми аналогами, перегнойно-глеевыми почвами, глеезёмами и различными типами торфяных почв. Преобладающие ПК на склонах в средней части ГЛП – мозаика бурозёмов с литозёмам серогумусовыми. На крутых склонах выходы коренных пород, осыпи, обвалы и оползни приводят к разрыву почвенно-геохимических связей и формированию мозаик и неупорядоченных сложных сочетаний-мозаик. Почвы таких мозаик представлены литозёмами серо- и грубогумусовыми и петрозёмами, в т.ч. гумусовыми. Такие мозаики составляют основу ПП горно-тундрового пояса, который характеризуется значительной прерывистостью и не образует континуума.



- Условные обозначения:  
 1–10 – Бурозёмы типичные и грубогумусовые в комбинации с литозёмами и бурозёмами глееватыми  
 12 – Криометаморфические почвы  
 13–17 – Литозёмы серо- и грубогумусовые, в т.ч. их комбинации с петрозёмами  
 18 – Петрозёмы  
 19 – Глеезёмы  
 21–24 – Торфяные почвы  
 25–29 – Аллювиальные почвы  
 30 – Выходы пород, курумы, осыпи  
 31 – Ледники, снежники  
 32 – Озера

Масштаб 1:50000

Рис. 1. Фрагмент почвенной карты территории Кузнецкого Алатау

Важную роль в почвенном покрове играют ложбины стока, образующие сложно разветвлённую сеть микропонижений на склонах. Почвенный покров в них образуют двух-трёхкомпонентные ПК (сочетания-вариации) из бурозёмов глееватых в верхней части ложбин и перегнойно-глеевых типичных или иловато-перегнойных почв в нижней. На заболоченных участках формируется трёхкомпонентная ПК (пятнистость) следующего состава: торфяная эутрофная глеевая типичная с торфяной эутрофной типичной до 20 % и торфяно-глеезёмом до 25%. Выделение такой ПК обусловлено варьированием мощности торфа.

В целом почвенный покров гумидного сектора Кузнецкого Алатау характеризуется как гомогенно-монотонный, с коэффициентом неоднородности = 4.8 – для почвенного покрова со склонами северных экспозиций и 4.2 – для склонов южных экспозиций. Он образован слабоконтрастным компонентным составом и имеет сложную (среднеблочную сильнорасчленённую) конфигурацию почвенных контуров. По представленному компонентному составу (табл. 1) коэффициент контрастности почвенного покрова = 12. Коэффициент расчленённости почвенных контуров = 4.4, коэффициент сложности = 0.4.

Выводы. 1. Установлено, что почвенный покров гумидного сектора КА характеризуется значительным разнообразием. В его составе представлены все 4 ствола: постлитогенный, синлитогенный, первичный и органогенный, всего выделено 8 отделов, 21 тип и 35 подтипов почв. 2. Преобладающим типом почв являются бурозёмы, которые встречаются в субальпийском и горно-лесном поясах. Преобладающие ПК среднегорий ГЛП – мозаики бурозёмов с литозёмам серогумусовыми. 3. Поверхностные горизонты формируются в зависимости от

высоты местности и от особенностей фитоценоза (серогумусовый и грубогумусовый) и от условий увлажнения (перегнойный, отофованный или торфяной). 4. В СПП преобладают литолого-дифференцированные ПК, состав которых зависит от мощности мелкозёмистой толщи.

### Литература

1. Ильиных Н.И. Почвы Кузнецкого Алатау (в пределах Красноярского края). Красноярск, 1970. 166 с.
2. Почвы Горно-Алтайской автономной области. Новосибирск: Наука, 1973. 352 с.
3. Трофимов С.С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. Новосибирск: Наука, 1975. 300 с.
4. Лойко С.В., Герасько Л.И. Факторы дифференциации и компонентный состав почвенного покрова таёжных экосистем Томь-Яйского междуречья // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2009. № 1. С. 63–70.
5. Лойко С.В., Герасько Л.И., Кулижский С.П., Амелин И.И., Истигечев Г.И. Строение почвенного покрова северной части ареала черневой тайги юго-востока Западной Сибири // Почвоведение, 2015, № 4. С. 410–423.
6. Салтыков А.В., Пузанов А.В. Почвы черневых лесов Алатау-Саянской горной страны (география, экология, свойства, биогеохимия) // Ползуновский вестник. 2006. № 2. С. 295–301.
7. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Почвенные ресурсы Кемеровской области и основы их рационального использования. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния РАН, 2013. 476 с.
8. Смоленцев Б.А. Почвенный покров государственного природного заповедника «Кузнецкий Алатау» // Труды Тигирекского заповедника. 2015. № 7. С. 162–166.
9. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
10. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
11. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-45 (Новокузнецк). Объяснительная записка. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2007. 665 с.
12. Куминова А.В. Растительность Кемеровской области (ботанико-географическое районирование). Новосибирск: РИО СО АН СССР, 1950. 167 с.
13. Седельников В.П. Флора и растительность высокогорий Кузнецкого Алатау. Новосибирск: Наука, 1979. 168 с.
14. Мульдьяров Е.Я., Лапшина Е.Д. К изучению болот Кузнецкого Алатау // Сибирский экологический журнал. 2000. № 5. С. 645–652.
15. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 488 с.
16. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972.
17. Смоленцев Б.А. Структура почвенного покрова Сибирских увалов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002.
18. Смоленцева Е.Н. Структурно-метаморфические почвы государственного природного заповедника «Кузнецкий Алатау» // Труды Тигирекского заповедника. 2015. № 7. С. 167–172.

### COMPONENTS AND STRUCTURE OF THE SOIL COVER IN THE TERRITORIES WITH HUMID CLIMATE OF KUZNETSKY ALATAU

B.A. Smolentsev, E.N. Smolentseva

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, pedolog@ngs.ru, smolentseva@issa.nsc.ru

**Summary.** *It is established that the soil cover of the territory with the humid climate of the Kuznetsk Alatau (KA) consists of the following taxonomic units of the Russian Soil Classification system: 8 sections, 21 types and 36 soil subtypes. Burozems typical and their mosaics with gray-humic lithozem predominate in area. Some regularities of spatial distribution of soils, in particular elements of vertical zonality, are revealed. The structure of the soil cover is influenced, first of all, by the lithogeomorphological features of the mountain ridges of KA. It determines the formation of unordered mosaic combinations and complex catenas-mosaics. Lithological-differentiated soil combinations predominate in the soil cover, the composition of which depends on the thickness of the fine earth.*

**Key words:** *Kuznetsky Alatau, burozem, Cambisol, mountain soils, humid pedogenesis, soil diversity, soil cover structure*

## ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ЖЕЛТОЗЕМОВ ПРИ ВЕДЕНИИ КУЛЬТУРЫ ЧАЯ (*CAMELLIA SINENSIS*) В УСЛОВИЯХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ

Д.В. Струкова

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур», Сочи, sheveleva82@list.ru

**Аннотация.** *Представлены результаты изучения ферментативной активности и агрохимических свойств желтозема ненасыщенного оподзоленного под культурой чая. Показано распределение активности ферментов (каталазы, уреазы, инвертазы, фосфатазы) по генетическим горизонтам почвенного профиля и в сезонной динамике. Проведен сравнительный анализ этих показателей для основных типов почв влажно-субтропической зоны России (бурых лесных кислых и бурых лесных слабоненасыщенных).*

**Ключевые слова:** *желтоземы, чайная плантация, агрохимические свойства, активность почвенных ферментов, минеральные удобрения.*

Влажно-субтропическая зона – Черноморское побережье Краснодарского края – является уникальной природной зоной России, сочетающей специфические почвенно-климатические условия и растительный покров, определившие развитие субтропического растениеводства. В почвенном покрове зоны наибольшее распространение получили бурые лесные почвы (различные их подтипы), встречаются дерново-карбонатные и интразональные аллювиальные почвы [1], а также желтоземы и желтоземовидные почвы – уникальные для России и территориально ограниченные даже в пределах зоны.

Желтоземы и почвы желтоземного ряда (желтоземы глеевые, подзолисто-желтоземные почвы), являющиеся типичными зональными почвами для субтропического пояса, встречаются на Черноморском побережье России лишь фрагментарно в прибрежной зоне (преимущественно в Адлерском районе г. Сочи) [1, 2]. Они присутствуют почти исключительно на пологих склонах или выположенных древних морских террасах на кислых глинистых почвообразующих породах. Выше 130–150 м над уровнем моря формирование желтоземов ограничено климатическими условиями, и они сменяются либо буроземами, либо различными вариантами дерновых почв [1]. Природно-климатические факторы, определяющие формирование желтоземов в зоне влажных субтропиков России, морфологические особенности почв данного типа можно найти в работах [2, 3].

Земельный фонд Большого Сочи характеризуется высоким удельным весом земель природоохранного, заповедного, оздоровительного и рекреационного назначения. В структуре почвенного покрова сельхозугодий бурые лесные почвы занимают более 50 % территории; дерново-карбонатные – 12,9%; аллювиальные почвы – 22,3%; желтоземы в комплексе с подзолисто-желтоземными почвами и желтоземами глеевыми – менее 6% [2]. Желтоземы главным образом осваивались под субтропические плодовые культуры и пастбища, ненасыщенные оподзоленные – под чай.

Возделывание культуры чая на кислых ненасыщенных оподзоленных желтоземах является наиболее обоснованным и эффективным, так как чай относится к ацидофильным растениям, хорошо переносит высокую кислотность и повышенное содержание подвижных форм алюминия. При этом, естественный уровень плодородия желтоземных почв субтропиков России характеризуется низким содержанием гумуса и низкими агрофизическими показателями, а также недостаточным для чая содержанием питательных веществ [2]. Применение минеральных удобрений, как мощный фактор повышения урожайности культур, является необходимым аспектом в успешном и эффективном ведении культуры чая (часто в повышенных дозах по азоту), что неизбежно приводит к изменениям свойств почв как агрохимических, так и биологических. Наряду с комплексом традиционных агрохимических показате-

лей, для оценки состояния почв используется ряд биологических показателей, которые давно зарекомендовали себя как наиболее чувствительные и информативные, к числу которых относятся и активность ферментов.

Биологические и агрохимические особенности основных подтипов бурых лесных почв (кислых и слабонасыщенных) естественных и агроценозов влажно-субтропической зоны России, в том числе ферментативная активность почв чайных плантаций, изучены достаточно детально [4–6].

Целью данной работы являлось изучение активности комплекса ферментов и агрохимических свойств желтоземов под культурой чая, что дополнит характеристику основных зональных типов почв.

Исследования проводились на базе опытного участка ВНИИ цветоводства и субтропических культур (г. Сочи), в опытно-коллекционных насаждениях чая на желтоземе ненасыщенном оподзоленном, агротехнические мероприятия осуществлялись согласно зональной технологии возделывания чая [7].

Для изучения агрохимических и биологических показателей почвы по генетическим горизонтам был заложен почвенный разрез и отобраны смешанные образцы по стенкам разреза. Закладка разреза проведена в ноябре – по окончании периода активной вегетации растений и при относительно стационарном состоянии почвы. Для изучения сезонной динамики показателей биологической активности из слоя почвы 0–15 см отбирались образцы в мае, августе и октябре. Активность ферментов определяли в свежих образцах методами Галстяна [8]: уреазы, фосфатазы, инвертазы – колориметрически; каталазы – газометрически. Агрохимические свойства почвы определяли по общепринятым методикам:  $pH_{KCl}$  – потенциометрически; гидrolитическая кислотность ( $H_{ГК}$ ) – по Каппену; подвижный алюминий – по Соколову; обменные кальций и магний ( $Ca+Mg$ ) – трилометрически; степень насыщенности основаниями ( $V$ , %) – расчетная; гумус – по Тюрину в модификации Орлова и Гриндель; азот легкогидролизуемый ( $N_{лг}$ ) – по Тюрину и Кононовой, колориметрически с реактивом Несслера; фосфор и калий подвижные – по Ониани (колориметрически и на пламенном фотометре).

Изучаемая почва характеризовалась (табл. 1) сильно кислой реакцией по всему профилю, высокой гидrolитической кислотностью и высоким содержанием подвижного алюминия, а также высокой степенью ненасыщенности основаниями, что соответствовало высокому уровню плодородия по показателям кислотно-основного состояния; средним содержанием гумуса, высокой обеспеченностью легкогидролизуемым азотом и подвижным фосфором, низкой обеспеченностью подвижным калием (согласно градаций для почв чайных плантаций) [9].

Т а б л и ц а 1

Агрохимические свойства желтоземной почвы чайной плантации по генетическим горизонтам

Горизонт (глубина, см)	$pH_{KCl}$	$H_{ГК}$ , мг-экв/ 100 г	Al, мг/100 г	Ca+Mg, мг-экв/ 100 г	V, %	Гумус, %	$N_{лг}$ , $P_2O_5$ , $K_2O$ мг/100 г		
							$A_0A(0-6)$	3,60	17,8
$AB(6-30)$	3,55	21,5	96,2	2,9	11,9	3,4	11,3	44,3	9,6
$B(30-60)$	3,55	23,4	105,6	1,4	5,6	4,0	16,2	63,1	8,0
$BC(60-80)$	3,55	21,5	102,1	1,0	4,4	3,1	15,2	36,6	8,0

Особенностью почвенно-генетического распределения ферментативной активности является ее более высокий уровень в верхних органогенных горизонтах и существенное снижение в нижних минеральных горизонтах, что обусловлено распространением корневой системы растений, содержанием гумуса и биогенных элементов в почве, а также водно-воздушным режимом и связанной со всем этим микробиологической активностью. Такой характер распределения активности основной группы ферментов установлен и для изученной желтоземной почвы чайной плантации (табл. 2).

Активность каталазы, которая характеризует протекание окислительно-восстановительных процессов в почве и используется как показатель стабильности микробценоза,

была низкой и убывала вниз по профилю. В верхнем слое почвы (0–15 см) значения активности каталазы (в мае, августе, октябре) составляли соответственно 0,5; 6,3 и 0,4 единиц ферментативного действия. Такой уровень активности фермента и характер сезонной динамики был установлен и для бурых лесных кислых почв чайных плантаций Большого Сочи [6].

Инвертаза участвует в биохимических превращениях углеводов, которые содержатся в почвенном органическом веществе, микроорганизмах и растениях в значительном количестве. Максимальные значения зафиксированы в верхнем органогенном горизонте, далее инвертазная активность убывает вниз по профилю, что связано с содержанием гумуса и распространением корневой системы чая (табл. 2). Такое распределение активности инвертазы по профилю, а также ее корреляция с содержанием гумуса характерны как для бурых лесных, так и для других типов почв [6, 10]. При этом абсолютные значения активности для ранее изученных зональных подтипов бурых лесных почв чайной плантации и других агроценозов находились в том же диапазоне (10–30 мг глюкозы/10 г почвы), тогда как бурые лесные почвы лесных ценозов характеризовались более высоким уровнем активности инвертазы горизонта  $A_dA_1$  (100–170 мг глюкозы/10 г почвы) [6].

Уреаза участвует в процессах азотного обмена в почве, ее активность рассматривается как чувствительный, информативный показатель агрогенного воздействия, который отражает как негативное влияние применения высоких доз минеральных удобрений, так и положительное воздействие окультуривания почв [6, 10, 11]. Активность уреазы изученной желтоземной почвы снижалась вниз по профилю, с повышением в слое почвы 6–30 см (табл. 2). Значения активности уреазы в верхнем слое почвы в периоды май, август, октябрь составили соответственно 1,9; 0,8; 3,1 мг  $NH_3$ /10 г почвы. То есть, при относительно высоком уровне плодородия почвы активность уреазы повышалась при существенном снижении в зоне непосредственного внесения минеральных удобрений, особенно в период вегетации. Такое же увеличение активности уреазы в слое 5–40 см при снижении в поверхностном слое было установлено при возделывании чая на бурых лесных кислых почвах [6].

Т а б л и ц а 2

**Активность ферментов желтоземной почвы чайной плантации по генетическим горизонтам**

Горизонт (глубина, см)	Каталаза, мл $O_2$ /1 г	Уреаза, мг $NH_3$ /10 г	Инвертаза, мг глюко- зы/10 г	Фосфатаза мг $P_2O_5$ /100 г
$A_0A(0-6)$	2,97	5,52	23,06	0,02
$AB(6-30)$	1,10	8,50	13,94	0
$B(30-60)$	0,78	3,02	18,38	0
$BC(60-80)$	0,52	1,30	0	0

Исследования показали, что изученная желтоземная почва чайной плантации характеризовались очень низкой активностью фосфатазы по всему профилю. Это связано как с генетической особенностью почв, так и с высоким содержанием подвижных форм фосфора, обусловленным длительным применением минеральных удобрений. Такой низкий уровень активности фосфатазы (до 0,7 мг  $P_2O_5$ /100 г) характерен и для бурых лесных кислых и слабонасыщенных почв нашей зоны, как чайных плантаций (а также персиковых и фундучных насаждений), так и лесных ценозов [6].

Таким образом, изученный желтозем ненасыщенный оподзоленный при ведении культуры чая с применением минеральных удобрений характеризовался относительно высокими показателями плодородия. Уровень активности почвенных ферментов, особенность распределения активности по генетическим горизонтам характерны и для других основных зональных типов и подтипов почв (бурых лесных кислых и слабонасыщенных) субтропической зоны Большого Сочи, что обусловлено природно-климатическими условиями и возделываемой культурой.

## Литература

1. Бушин П.М. Почвы субтропической зоны Краснодарского края // Докл. Соч. отд-ния Геогр. о-ва СССР. Л., 1971. Вып. 2. С. 139–163.
2. Беседина Т.Д. Агрогенная трансформация почв влажных субтропиков России под культурой чая. Краснодар, 2004. 169 с.
3. Малюкова Л.С., Козлова Н.В. Зональные типы почв влажных субтропиков Черноморского побережья России // Субтропическое и декоративное садоводство. 2016. № 56. С. 146–156.
4. Струкова Д.В., Малюкова Л.С. Активность ферментов каталазы и фосфатазы в бурых лесных кислых почвах чайных плантаций субтропиков России // Субтропическое и декоративное садоводство. 2009. № 42–2. С. 118–127.
5. Струкова Д.В. Биологическая активность бурой лесной слабоненасыщенной почвы агроэко-системы фундука в условиях субтропиков России // Субтропическое и декоративное садоводство. 2011. № 44. С. 201–207.
6. Струкова Д.В. Биологическая активность бурых лесных почв агроценозов чая, персика, фундука при длительном применении минеральных удобрений в условиях черноморского побережья России: дис. ... канд. биол. наук. Сочи, 2015. 140 с.
7. Методические указания по технологии возделывания чая в субтропической зоне Краснодарского края / [Т.П. Алексеева и др.]; НИИ горного садоводства и цветоводства. Сочи, 1977. 47 с.
8. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. М.: МГУ, 1989. 304 с.
9. Малюкова Л.С., Козлова Н.В., Притула З.В. Система удобрения плантаций чая в субтропиках России. Сочи: ВНИИЦиСК, 2010. 45 с.
10. Хазиев Ф.Х., Гулько А.Е. Ферментативная активность почв агроценозов и перспективы ее изучения // Почвоведение. 1991. № 8. С. 88–103.
11. Свирскене А. Микробиологические и биохимические показатели при оценке антропогенного воздействия на почвы // Почвоведение. 2003. № 2. С. 202–210.

### ENZYME ACTIVITY OF THE ZHELTOZEMS WITH CULTIVATION OF THE TEA PLANT (*CAMELLIA SINENSIS*) IN THE CONDITIONS OF SUBTROPICS OF RUSSIA

D.V. Strukova

Russian Scientific and Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops, Sochi, sheveleva82@list.ru

**Summary.** *Presents the results of studying the enzymatic activity and agrochemical properties of the zheltosol unsaturated podzolized under the tea culture. The distribution of enzyme activity (catalase, urease, invertase, phosphatase) is shown in the genetic horizons of the soil profile and in seasonal dynamics. A comparative analysis of these parameters for the main types of soils of the humid-subtropical zone of Russia (brown forest acidic and brown forest low-saturated) was carried out.*

**Keywords:** *zheltosol, tea plantation, agrochemical properties, soil enzymes activity, mineral fertilizers.*

## ГЕНЕЗИС И СВОЙСТВА ПОДВОДНЫХ ПОЧВ

А.Н. Ткаченко, О.В. Ткаченко, М.Ю. Лычагин, М.А. Котвица

Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, tkachenkomsu@yandex.ru

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования подводных почв устьевой области Волги, проанализированы условия их формирования, рассмотрены основные типы подводных почв, описаны свойства генетических горизонтов.

**Ключевые слова:** донные отложения, подводные почвы, дельты рек.

Донные осадки водоемов рассматриваются рядом авторов в качестве подводных почв [1, 2 и др.] и включены в некоторые национальные (American Soil Taxonomy) и международную (World Reference Base for Soil Resources [3]) почвенную классификацию. При этом работы по изучению донных осадков с точки зрения процессов почвообразования практически отсутствуют. В речных дельтах, благодаря поступлению значительного количества твердых веществ с речным стоком и распространением водной растительности формируются условия благоприятные для развития подводных почв [4]. Профиль таких почв дифференцирован на горизонты, по сочетанию которых можно выделить несколько типов и подтипов акваземов [5].

В работе представлены результаты исследования подводных почв дельты реки Волги, в ходе которых изучены почвы, формирующиеся на дне крупных протоков дельты с высокими скоростями течения, малых полупроточных и непроточных ериков, полузакрытых дельтовых озер (култуков), участков открытого устьевого взморья, занятых разными видами водной растительности. Образцы почвенных профилей извлекались с помощью бура для отбора проб подводных грунтов ненарушенного строения, после чего проводилось выделение горизонтов и типизация подводных почв в соответствии с предложенной [4, 5] классификацией. Содержание гумуса определялось методом Тюрина, гранулометрический состав – методом лазерной гранулометрии. Экспедиционные исследования проведены в рамках проекта РФФИ № 18-05-80094, обработка полученных материалов – при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-35-00354.

Отличительной особенностью подводных почв является их положение под толщей воды. Скорость течения является дополнительным фактором подводного почвообразования и в некотором смысле занимает место климатического фактора, влияние которого значительно слабее для подводных почв в сравнении с почвами суши. Чем ниже скорость, тем интенсивнее происходит осаждение взвешенных в воде частиц, при этом резкое усиление скорости потока может приводить к полному или частичному смыву подводных почв. Наиболее мощные и тяжелые по гранулометрическому составу почвы формируются в условиях постоянного медленного течения и отсутствия ветро-волновой активности. В дельте Волги такие почвы характерны для зарослей укореняющихся макрофитов (лотос, рогоз, ежеголовник) в култуках (полузакрытых дельтовых озерах) и на участках открытого мелководного устьевого взморья. Небольшие глубины и замедление течения при выходе на открытое пространство способствуют осаждению тонкодисперсного материала, а наличие водной растительности препятствует размыву почв при сильном ветре и волнении воды. На участках с высокими скоростями течения происходит размыв верхних горизонтов, отложения представлены донными осадками, которые нельзя отнести к подводным почвам.

Другим важным фактором формирования подводных почв служит водная растительность. Заросли макрофитов служат барьером на пути потока твердых взвешенных в воде частиц, задерживая значительную часть твердого стока [6], поступающего в вершину дельты. Как и в наземном почвообразовании, видовой состав растительности влияет на содержание органического вещества в почвах. Максимальное (5–7%) содержание гумуса отмечается в верхних горизонтах почв под лотосными полями (акваземы гумусовые), минимальное – на участках, лишенных растительности. Оказывает влияние и видовой состав растительности: под зарослями тростника, который разлагается гораздо медленнее лотоса, формируются акваземы торфяные, в которых, несмотря на значительную мощность органогенных горизонтов, содержание гумуса невелико, степень переработки органического вещества слабая. Под пла-



вающими видами макрофитов (чилиим, сальвиния, рдесты и т.д.) почвы представлены акваземами типичными или окисленными, их верхние органогенные горизонты маломощные с низким (до 1-2%) содержанием гумуса. На участках, лишенных растительности, верхние горизонты почв могут полностью отсутствовать или быть представленными светлоокрашенными окисленными илами с содержанием гумуса <1%.

Влияние рельефа проявляется в различии условий осадконакопления в разных частях русла. По аналогии с наземными почвами, для которых рельеф играет роль перераспределителя тепла и влаги, в подводных ландшафтах положение в рельефе определяет скорость накопления взвешенных в воде веществ. Интенсивное накопление тонкодисперсного материала в ямах, затонах, ухвостьях островов приводит к формированию мощных органогенных илов. Сказывается и положение в русле реки: на стрежне преобладают процессы размыва материала и подводные почвы практически отсутствуют, в прибрежной части русла скорость потока ослабевает и создаются условия для формирования подводных почв.

Влияние породного фактора можно проследить на примере почв, формирующихся на выходах шоколадных глин. Профиль таких почв отличается контрастной сменой типичного оглеенного (акваглеевого) горизонта подводных почв горизонтом подстилающих глин коричневого цвета, тяжелого механического состава, практически без признаков оглеения.

По строению профиля подводных почв можно проследить историю развития дельтовых ландшафтов. На границе морского края дельты, положение которого значительно менялось во времени, формируются аквазема слоистые, представленные сочетанием опесчаненных горизонтов, прослоев ракушки и илистых оглеенных горизонтов, характерных для разных гидролого-геохимических обстановок. В нижней части профиля встречается сизовато-серый горизонт с гумусовыми пятнами и небольшим увеличением содержания гумуса (от 0,8% в средней части профиля до 1,2% в нижней), характерный, вероятно, для стадии низкого стояния воды и развития прибрежной растительности. Заметно сказывается и влияние человека. При дноуглубительных работах для рыбоходных каналов происходит выкашивание водной растительности и механическая деформация русла, что приводит к размыву верхних слоев донных отложений. Почвы каналов имеют нарушенный профиль или отсутствуют.

Таким образом, многообразие подводных почв дельты отражает различие условий формирования аквальных ландшафтов, а строение профиля подводных почв обусловлено влиянием факторов почвообразования.

### Литература

1. Батоян В.В. Особенности геохимического профиля подводных почв в водоемах с нейтральной реакцией // Вестн. МГУ. Сер. геогр. 1983. № 3. С. 79–86.
2. Stolt M., Bradley M., Ichetti G., Shumchenia E., Guarinello M., King G., Boothroyd J., Oakley B., Thornber C., and August P. (2011). Mapping shallow coastal ecosystems: a case study of a Rhode Island lagoon // *Journal of Coastal Research*. 27(6A), 1–15.
3. Мировая коррелятивная база почвенных ресурсов: основа для международной классификации и корреляции почв. М., 2007. 287 с.
4. Касимов Н.С., Касатенкова М.С., Ткаченко А.Н., Лычагин М.Ю., Крооненберг С.Б. Геохимия лагунно-маршевых и дельтовых ландшафтов Прикаспия. М., 2016. 244 с.
5. Tkachenko A.N., Gerasimova M.I., Lychagin M.Yu., Kasimov N.S., Kroonenberg S.B. Bottom sediments in deltaic shallow-water areas – are they soils? // *Geography, environment, sustainability*. 2016. V. 3. P. 39–52.
6. Казмирук В.Д., Казмирук Т.Н., Бреховских В.Ф. Зарастающие водотоки и водоемы. М.: Наука, 2004. 310 с.

### GENESIS AND PROPERTIES OF SUBAQUEOUS SOILS

A.N. Tkachenko, O.V. Tkachenko, M.Yu. Lychagin, M.A. Kotvitsa

Geography Faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow, tkachenkomsu@yandex.ru

**Summary.** *The paper presents the results of the subaqueous soils study in the Volga River delta area, the conditions for their formation are analyzed, the main types of subaqueous soils and the properties of their genetic horizons are described.*

**Keywords:** *bottom sediments, subaqueous soils, river deltas.*

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ИЛЛЮВИАЛЬНО-ЖЕЛЕЗИСТЫХ ПОЧВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

А.С. Уманский

Калининградский государственный технический университет, Калининград, anton.umanskiy@klgtu.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности морфологического строения дерново-подзолистых иллювиально-железистых почв, испытавших антропогенное изменение различной интенсивности. Установлено, что при использовании почв в пашне признаки проявления процессов оподзоливания утрачиваются, причем при сильной антропогенной трансформации почвы могут быть преобразованы в агростратоземы. В сопряженных с дерново-подзолистыми дерново-глеевыми почвах также отмечено наличие ожелезненных горизонтов.

**Ключевые слова:** дерново-подзолистые иллювиально-железистые почвы, дерново-глеевые почвы, антропогенная трансформация почв.

Дерново-подзолистые иллювиально-железистые почвы широко распространены на территории Калининградской области [1-3]. Большой интерес представляет изучение данных почв в западной части Калининградской области, поскольку по причине наибольшей плотности населения в этой части региона в последние десятилетия наблюдается усиление антропогенной нагрузки на окружающую среду.

В данной статье рассматриваются почвы четырех ключевых участков, расположенных в окрестностях г. Калининграда – «Прибрежный», «Черепаново», «Дорожный» и «Медведевка». Исследования проводились в течение 2015–2016 гг. с целью изучения антропогенной трансформации почв. В качестве эталонов ненарушенных почв были выбраны почвы Городского леса (западная окраина г. Калининграда), детально исследованные О.А. Анциферовой [4, 5].

Ключевые участки расположены в различных геоморфологических районах. Участки «Прибрежный» и «Черепаново» заложены в пределах древнеаллювиальной равнины, примыкающей к побережью Вислинского залива, участки же «Дорожный» и «Медведевка» находятся в восточной части Самбийского плато, в верхнем течении реки Гурьевки (бассейн реки Преголи).

Ключевой участок «Прибрежный» был заложен в 500 м юго-западнее одноименного поселка, находящегося на юго-западной окраине г. Калининграда и в 400 м восточнее Вислинского залива, в сосновом лесу с примесью дуба черешчатого на пологом склоне западной экспозиции. Почвообразующие породы представлены древнеаллювиальными отложениями песчаного гранулометрического состава. Почвы верхней части склона следующее имеют строение профиля:  $A_0A_1-A_2B-B_1-B_2-BC$ . Профиль почв средней части склона имеет заметные различия – между лесной подстилкой и гумусовым горизонтом залегает промежуточный горизонт  $A_0A_1$ , а сам горизонт  $A_1$  оторфован. Поскольку отдельный подзолистый горизонт  $A_2$  не выделяется, следы оподзоливания в горизонте  $A_2B$  мощностью 10–15 см, имеющим ржаво-бурую или светло-бурую окраску, выделяют по осветлению слоя при подсыхании. Слабая выраженность оподзоливания позволяет высказать предположение о возможно протекавшей в прошлом сукцессии – либо пирогенной, либо связанной со сведением леса. Усиление ржавой окраски и плотности сложения вниз по профилю указывает на протекание иллювиально-железистого процесса. Согласно «Классификации и диагностике почв России» данные почвы следует отнести к дерново-подзолам иллювиально-железистым [6]. Почвы верхней части склона имеют кислую реакцию среды (рН горизонта  $A_1$  равен 3,95, в нижних горизонтах значение рН увеличивается), в почвах средней части склона реакция среды колеблется от близкой к нейтральной (рН=5,78) до кислой (рН=4,92). Также отмечается понижение значений гидролитической кислотности (с 4,46 до 1,58 ммоль/100 г) и суммы поглощенных оснований (с 7,48 до 0,56 ммоль/100 г) вниз по профилю. Таким образом, можно судить об обедненно-

сти почвенного профиля катионами. Однако следует отметить, что, хотя тенденция к уменьшению емкости поглощения вниз по профилю типична для иллювиально-железистых почв [5, 7], значения суммы поглощенных оснований, превышающие значения гидролитической кислотности следуют признать аномальными. Наглядное представление о морфологическом строении почв участка «Прибрежный» также дает рис. 1.



Рис. 1. Профиль дерново-подзолистой иллювиально-железистой почвы. Ключевой участок «Прибрежный»

Ключевой участок «Черепаново» заложен в северной части древнеаллювиальной равнины. Территория представляет собой склон западной экспозиции, вершина которого покрыта широколиственным лесом с преобладанием граба, дуба и клена, сам же склон используется под пашню. Почвенный покров представлен дерново-подзолистыми окультуренными, дерново-глеевыми, а также агростратоземами — почвами, претерпевшими сильное антропогенное изменение, выразившееся в наличии, наряду с мощным пахотным (27 см), погребенного гумусового горизонта. Формирование подобных почв в мелиорируемых ландшафтах, связанное с планировкой поверхности подробно описано в литературе [7–10]. В качестве примера описания разреза антропогенно-преобразованной почвы приводится описание разреза, заложенного на средней трети склона.

#### Разрез № 1

Апах <u>0-27</u> 27	Серый, уплотненный, свежий. Структура комковатая. Среднесуглинистый. Корни растений. Мелкие камни. Переход постепенный
АВ пах <u>27-50</u> 23	Серый со ржавыми и сизыми пятнами, плотнее предыдущего, влажный. Структура комковато-ореховатая. Среднесуглинистый. Корни. В нижней части – заделанные растительные остатки. Переход ясный, граница ровная
Апогр <u>50-74</u> 24	Темно-серый, плотный, влажный. Структура комковатая. Среднесуглинистый. Корни. Переход заметный, граница слабоволнистая
В <u>74-87</u> 13	Темно-бурый, плотный, влажный. Структура комковато-ореховатая. Среднесуглинистый. Корни. Ржавые и сизые пятна. Переход ясный по цвету, граница слабоволнистая
ВСg <u>87-105</u> 18	Неоднородно окрашенный, желто-бурый с сизыми прожилками. Влажный, уплотненный. Структура ореховатая. Среднесуглинистый. Переход ясный по цвету, граница волнистая
G <u>105-120</u> 15	Сизый, влажнее предыдущего, плотный. Структура ореховатая. Среднесуглинистый. Валун. Ржавые пятна

Агростратозем глееватый среднесуглинистый на моренных суглинках.  
Для сравнения приведем описание дерново-подзолистой почвы.

### Разрез № 2. Верхняя часть склона.

Апах <u>0-20</u> 20	Серый со ржавыми пятнами, плотный, влажный. Структура комковатая. Легкосуглинистый. Корни растений. Камни. Переход ясный по цвету, граница ровная
В <sub>1</sub> <u>20-36</u> 16	Темно-бурый, плотный, влажный. Структура ореховатая. Легкосуглинистый. Корни. Камни. Переход постепенный
В <sub>2</sub> <u>36-53</u> 17	Темно-бурый со ржавыми пятнами, плотный, влажнее предыдущего. Черные пятна марганцевых примазок. Структура мелкоореховатая. От легко- до среднесуглинистого. Переход заметный, граница слабоволнистая
ВСg <u>53-74</u> 21	Темно-бурый с сизым оттенком, влажный, плотный. Структура мелкоореховатая. Среднесуглинистый. Мелкие камни

Дерново-слабоподзолистая окультуренная глееватая легкосуглинистая на моренных средних суглинках.

Территории ключевых участков «Медведевка» и «Дорожный» расположены на верхней надпойменной террасе реки Гурьевки. Растительность представлена разнотравно-злаковыми и разнотравными луговыми сообществами. Строение почвенного профиля дерново-подзолистых почв, образующих почвенные комбинации как с бурыми лесными, так и с дерново-глеевыми почвами, имеет вид  $A_d-A_1(A_{пах})-Bf-BC-C(G)$  и характеризуется наличием мощного пахотного горизонта (мощностью более 25 см), ниже которого залегает иллювиально-железистый горизонт. Почвообразующие породы могут быть представлены породами легкого гранулометрического состава (песками и супесями) как моренного, так и водноледникового генезиса.

Имеющиеся данные о химических свойствах данных почв противоречивы, поскольку реакция среды в них может быть как кислой (участок «Дорожный», разрез № 7), так и нейтральной (участок «Медведевка», разрез № 5), что, очевидно, связано с особенностями плотительного комплекса. Также в нижней части профиля почвы разреза № 5 отмечено крайне высокое (от 413 до 1167 мг/кг) содержание подвижного фосфора, достигающее максимума в ожелезненном горизонте, при этом содержание обменного калия невелико — 54 мг/кг в ожелезненном горизонте и 17 мг/кг в почвообразующей породе.

Следует заметить, что формирование ожелезненного горизонта на ключевых участках в бассейне реки Гурьевки может наблюдаться и в дерново-глеевых почвах, причем ожелезненный горизонт в них может располагаться ниже горизонта Вg, на глубине 50 см. Подобное явление отмечалось ранее для дерново-глеевых почв бассейна реки Деймы [7]. Предположительно, оглеение в верхней части профиля дерново-глеевых обусловлено тем, что ожелезненный горизонт является водупором. Таким образом, в дерново-глеевых почвах с ожелезненными горизонтами оглеение может одновременно образовываться при увлажнении как поверхностными, так и грунтовыми водами.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Дерново-подзолистые иллювиально-железистые почвы исследованной территории при использовании в пашне утрачивают признаки оподзоливания, поскольку подзолистый горизонт залегает неглубоко. При сильном антропогенном преобразовании (в частности, при планировке поверхности) возможно формирование агростратоземов.

2. Дерново-подзолистые иллювиально-железистые почвы образуют почвенные комбинации с бурыми лесными и дерново-глеевыми почвами. В дерново-глеевых почвах также возможно формирование плотных ожелезненных горизонтов, в результате чего оглеение проявляется как в верхней, так и в нижней части профиля.

## Литература

1. Анциферова О.А. Почвы Калининградской области. Калининград: Издательство ФГОУ ВПО «КГТУ», 2010. 240 с.
2. Географический атлас Калининградской области / гл. редактор В.В. Орленок. Калининград: Калининградское книжное издательство, 2002. 276 с.
3. Завалишин А.А., Надеждин Б.В. Почвенный покров Калининградской области // Почвы Калининградской области. М., 1961. С. 3–150.
4. Анциферова О.А. Экологический ряд лесных почв на песчаных равнинах юга Замландского полуострова. Морфологические особенности // Известия КГТУ. 2007. № 12. С. 103–111.
5. Анциферова О.А. Экологический ряд лесных почв на песчаных равнинах юга Замландского полуострова. Свойства почв // Известия КГТУ. 2007. № 12. С. 112–119.
6. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
7. Уманский А.С. Почвенный покров бассейна реки Деймы: современное состояние и перспективы рационального использования Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. 141 с.
8. Володин А.Н., Макарова Е.С. Физические свойства почв тяжелого гранулометрического состава Шуйской равнины // Повышение плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур Северо-Запада РСФСР. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского ун-та, 1976. С. 82–92.
9. Скрыбина О.А. Особенности агростратоземов Западного Предуралья // Почвы – национальное достояние России: тез. IV съезда Докучаевского общества почвоведов. Новосибирск, 2004. Т. 2. С. 311.
10. Сухачёва Е.Ю. Классификация почв объектов осушительной мелиорации // Межфазные взаимодействия в почвах лесной зоны. СПб.: Изд.-во СПбГУ, 2004. С. 125–140.
11. Анциферова О.А. Почвы Замландского полуострова и их антропогенное изменение. Ч. 2: Дерново-глеевые, аллювиальные, болотные, постпланировочные, городские почвы. Структура почвенного покрова. Калининград: Изд-во КГТУ, 2008. 424 с.

### COMPARATIVE DESCRIPTION OF SODDY-PODZOL ILLUVIAL-FERRUGINOUS SOILS OF WEST PART OF KALININGRAD REGION

A.S. Umanskiy

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, anton.umanskiy@klgtu.ru

**Summary.** *In the article are observed the peculiarity of morphological structure of soddy-podzolic illuvial-ferruginous soils, which are exposed to transformation by anthropogenic influence different intensity. The indication of podzolic process is disappearing during use the land as ploughed field. If anthropogenic influence is more intensive, then soils are transforming to anthrosols. In the gleysols which attended with the soddy-podzolic soils the ferruginous horizons are forming too.*

**Keywords:** *soddy-podzolic illuvial-ferruginous soils, gleysols, anthropogenic transpiration of soils.*

## РЕГИОНАЛЬНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М.Т. Устинов, Н.В. Елизаров

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, m.ustinov@ngs.ru, elizarov\_89@mail.ru

**Аннотация.** Структура почвенного покрова юга Западной Сибири одна из сложнейших по генетическому и геосистемному многообразию формирования почв и требует особого методологического подхода в ее исследовании. Изучение СПП основывалось на принципах формулы «мелиорированной толщи почв и пород» как зоны аэрации, а также на системном геодинамическом подходе. Это позволило определить основные эколого-мелиоративные группы и комплексы специального эколого-мелиоративного картографирования, раскрывающего природные системы, характеризующиеся исключительной мозаичностью, комплексностью, контрастностью и высокой пространственно-временной динамичностью. Следующим шагом в исследовании СПП Западной Сибири стала катенография и эколого-мелиоративная оценка почвенного покрова методом трансект-катен. Этот экосистемный подход природно-мелиоративной оценки территории, в основу которого положен бассейновый принцип, позволил объединить несколько теоретических подходов в изучении почв и структуры почвенного покрова по методам: пластики рельефа, профилирования, катенирования и заложения ключевых участков (трансект-катен).

**Ключевые слова:** структура почвенного покрова, Западная Сибирь, катена, трансект-катена, мелиорация, озеро Чаны, Юдинский плес, Барабинская равнина.

В иерархических уровнях структура почвенного покрова (СПП) – седьмой структурный уровень организации почв [1]. Учение о структуре почвенного покрова имеет не только теоретическое, но и прикладное значение. С выходом в 1965 г. статьи В.М. Фридланда «О структуре (строении) почвенного покрова» [2] началась разработка концепции СПП, в последующем изложенная в монографии [3]. Работы В.М. Фридланда по СПП являются основополагающими для современной географии почв и ландшафтов. По В.М. Фридланду структура почвенного покрова представляет собой географическую категорию, и познание ее нельзя смешивать с познанием состава почвенного покрова, то есть перечня почв, обнаруженных в изучаемом районе [4]. В методологической и справочной литературе СПП – это формы пространств, смен почвенных элементарных ареалов, в разной степени генетически связанных между собой и создающих определенный пространственный рисунок. Структуры почвенного покрова различных территорий характеризуется различной сложностью, контрастностью и неоднородностью, определяющиеся при детальном и крупномасштабных почвенных обследованиях [5]. К наиболее значимым научным работам по исследованию СПП, кроме работ В.М. Фридланда следует отметить работы Ф.И. Козловского [6], С.В. Горячкина [7] и специализированную монографию «Структура почвенного покрова и организация территории» [8].

При изучении СПП Сибири исследователи раскрыли его региональные особенности. Структура почвенного покрова как географическая категория изначально нашла отражение в замечательных монографиях по оценке почвенного покрова Сибири: «Почвы южной части Сибири» [9], «Почвы Новосибирской области» [10], «Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области» [11], в которых на базе обширных данных освещены генетические и производственные свойства почв и почвенный покров разделён на природно-экономические районы с ярко выраженной почвенной зональностью и климатическими условиями этих зон и вертикальных поясов. Первоначально исследование структуры почвенного покрова в основном были ориентированы на морфометрические показатели (внешний рисунок СПП и его детализация, соотношение компонентов) косвенно отражая и морфогенетические особенности СПП. Данный аспект морфогенетических характеристик формации, образующих структуру почвенного покрова и морфометрических характеристик его компонентного состава на большом объеме фактического материала Барабинской равнины изучен в работе

Б.А. Смоленцева, О.В. Вологжаниной [12]. Поэтому методологическому подходу, где морфографические и морфометрические карты, изображающие рельеф по морфометрических признакам, позволяют выделять рисунок и детализировать структуру почвенного покрова, И.Н. Степанов обосновал метод «пластики рельефа» [13].

В генетическом аспекте СПП необходимо рассматривать, как результат взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов, что было исполнено в коллективной монографии «Структура, функционирование и эволюции системы биогеоценозов Барабы» [14], где описана структура и свойства биогеоценозов Барабинской низменности: грунтовых вод, почв, растительного покрова..., раскрыта их особенность на стационаре «Карачи» ИПА СО АН СССР в лесостепной зоне Западной Сибири.

При введении в методологию исследований научного оборота И.Н. Угланова «мелиорируемая толща почв и пород» [15], которая включает почвы, грунты и породы, в пределах которых (от дневной поверхности до первого от поверхности выдержанного водоупора) формируются и протекают процессы, определяющие условия мелиоративного освоения территории, расширились и углубились возможности рассмотрения структуры почвенного покрова на более высоком уровне с учетом всех условий геосистемности его формирования.

С учетом принципа формулы «мелиорированные толщи почв и пород» как зоны аэрации и использования системного геодинамического подхода была составлена эколого-мелиоративная карта Левобережной части Новосибирской области масштаба 1:500000 В.А. Казанцевым, Л.А. Магаевой, Т.Н. Елизаровой, М.Т. Устиновым под руководством В.Н. Михайличенко на базе большого фактического материала, полученного при целевых почвенных, геологических, гидрогеологических и других съёмках крупного и среднего масштабов [16].

Такой методологический подход позволил определить основные рабочие единицы эколого-мелиоративные группы и комплексы специального эколого-мелиоративного картографирования, раскрывающего природные системы, характеризующееся исключительной мозаичностью, комплексностью, контрастностью и высокой пространственно-временной динамичностью структуры почвенного покрова.

Следующим шагом в исследовании СПП Западной Сибири стала катенография и эколого-мелиоративная оценка почвенного покрова методом трансект-катен [17]. Это экосистемный подход природно-мелиоративной оценки территории, в основу которого положен бассейновый принцип, позволил объединить несколько теоретических подходов в изучении почв и структуры почвенного покрова по методам: пластики рельефа, профилирования, катенирования и заложения ключевых участков (трансект-катен). Первый этап экосистемной оценки предусматривает составление базисной карты пластики рельефа. Затем производится катенография территории для исследования генетических свойств и последовательности пространственной смены природных комплексов и СПП, а также ландшафтно-генетических рядов.

Трансект-катена, как природное тело, имеет таксономическую определенность, специфические состав и структуру, свои пространственные и временные свойства, занимая определенное место на наиболее высоких уровнях организации природных систем и соответствует седьмому уровню структурной организации почв [17, 18]. На основании методологических принципов «мелиорируемой толще почвы пород» [15] и «катенографии» [17, 18] был выполнен ряд исследований СПП, изложенных в научных работах: формирование и эволюция почв обсыхающих территорий солёных озёр (на примере озера Чаны) [19]; адаптивно-ландшафтная мелиорация Барабы [20]; Юдинский плес оз. Чаны – интегральный индикатор прогноза эволюции обсыхающей Барабы [21], структурно-функциональная организация почвенного покрова экосистем Кулунды и Барабы (на примере Юдинского плёса оз. Чаны) [22]; мелиоративно-генетические особенности озёрно-пойменного почвообразования (на примере Юдинского плёса оз. Чаны) [23].

Из последних работ по СПП следует отметить статью К.С. Байкова, М.Т. Устинова, Ю.В. Кравцова, С.В. Соловьева «Почвенные спектры и эколого-мелиоративные особенности плодородия земель Барабы и Кулунды» [24], где определение региональных особенностей пространственной организации почвенного покрова Барабы произведено методом почвенно-

спектрографического анализа среднемасштабной карты «Почвы Новосибирской области». Качественный(состав) и количественные(площадные) характеристики почвенных спектров, рассчитанные средствами ГИС – моделирование при помощи геоинформационных программных продуктов (Arcgis, Mapinfo, GlobalMapper).

Из вышеизложенного следует основополагающий вывод, что и сама структура почвенного покрова является методологическим инструментом в исследовании геосистем позволяя: диагностировать почвы по их сопряжению в СПП (в катене, трансект-катене); выявлять фазы и стадии развития почв с интерпретированием их свойств; оценивать экономическую целесообразность использования территории в сельскохозяйственном направлении; выявлять природно-мелиоративные особенности земельного фонда для проектирования объектов мелиоративного строительства и определения капиталоемкости мелиоративных систем; организовать мониторинг мелиорированных земель, прогнозировать направленность функционирования почвенных процессов с выявлением фаз и стадий развития и формирования СПП.

### Литература

1. Почвоведение: учеб. для ун-тов: в 2 ч. Ч. 1: Почва и почвообразование / под ред. В. А. Ковды, Б.Г. Розанова. М.: Высш. шк., 1988. 400 с.
2. Фридланд В.М. О структуре (строении) почвенного покрова // Почвоведение. 1965. № 4. С. 15–28.
3. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 410 с.
4. Фридланд В.М. Проблемы географии, генезиса и классификации почв. М.: Наука, 1986. 248 с.
5. Мелиорация: энцикл. Справочник. Минск: Беларусь. Сов. Энцикл., 1984. 567 с.
6. Козловский Ф.И. Влияние биоты на морфоструктуры и морфогенез почв // Современные естественные и антропогенные процессы в почвах и геосистемах. М.: Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. 369 с.
7. Горячкин С.В. Проблема приоритетов в современных исследованиях почвенного покрова: структурно-функциональный информационный подход или парциальный анализ // Современные естественные и антропогенные процессы в почвах и геосистемах. М.: Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. 369 с.
8. Структура почвенного покрова и организация территории. М.: Наука, 1983. 197 с.
9. Горшенин К.П. Почвы южной части Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1955.
10. Почвы Новосибирской области / отв. ред. Р.В. Ковалев. Новосибирск: Наука, 1966. 424 с.
11. Трофимов С.С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. Новосибирск: Наука, 1975. 300 с.
12. Смоленцев Б.А., Вологжанин О.В. Пространственная и функционально-генетическая характеристика почвенных комбинаций Барабинской равнины // Сибирский экологический журнал. 2004. № 3. С. 355–366.
13. Степанов И.Н. Пространство и время в науке о почвах. Недокучаевское почвоведение. М.: Наука, 2003. 184 с.
14. Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Т. I, II. Новосибирск: Наука, 1974.
15. Угланов И.Н. Мелиорируемая толща почв и пород юга Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1981. 193 с.
16. Казанцев В.А., Магаева Л.А., Елизарова Т.Н., Устинов М.Т. Эколого-мелиоративная оценка почвенного покрова южной лесостепи Барабинской равнины // Сибирский экологический журнал. 2001. № 3. С. 275–280.
17. Устинов М.Т. Катенография и эколого-мелиоративная оценка почвенного покрова методом трансект-катен // Сибирский экологический журнал. 2001. № 3. С. 285–292.
18. Устинов М.Т., Глистин М.В. Пространственно-временная модель почвообразования – трансект-катена // Материалы международной научной конференции «Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты». СПб.: Издательский дом СПб. государственного университета, 2007. С. 142–145.
19. Казанцев В.А., Магаева Л.А., Устинов М.Т., Якутин М.В. Формирование и эволюция почв обсыхающих территорий солёных озёр (на примере озера Чаны) // Сибирский экологический журнал, 2 (2005). С. 321–339.



20. Устинов М.Т., Глистин М.В., Казанцев В.А., Магаева Л.А. Адаптивно–ландшафтная мелиорация Барабы // Мелиорация и водное хозяйство. 2005. № 6. С. 46–49.
21. Устинов М.Т., Магаева Л.А. Юдинский плес оз. Чаны – интегральный индикатор прогноза эволюция обсыхающей Барабы // Мелиорация и водное хозяйство. 2010. № 1. С. 27–31.
22. Устинов М.Т., Магаева Л.А. Структурно-функциональная организация почвенного покрова экосистем Кулунды и Барабы (На примере Юдинского плёса озера Чаны) // Мелиорация и водное хозяйство. 2014. № 1. С. 28–30.
23. Устинов М.Т., Глистин М.В. Мелиоративно–генетические особенности озерно-пойменного почвообразования (на примере Юдинского плёса озера Чаны) // Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 4. С. 27–31.
24. Байков К.С., Устинов М.Т., Кравцов Ю.В., Соловьев С.В. Почвенные спектры и эколого–мелиоративные особенности плодородия земель Барабы и Кулунды. // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 6. С. 40–45.

## REGIONAL-GENETIC ASPECTS OF THE STRUCTURE OF SOIL COVER OF THE SOUTH OF WEST SIBERIA

M.T. Ustinov, N.V. Elizarov

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, m.ustinov@ngs.ru, elizarov\_89@mail.ru

**Summary.** *The structure of the soil cover of the south of Western Siberia is one of the most complex soil formation in the genetic and geosystemic diversity and requires a special methodological approach in its study. The study of SPP was based on the principle of the formula of "reclaimed strata of soils and rocks" as zones of aeration, and also on the system geodynamic approach. This made it possible to determine the main ecological-meliorative groups and complexes of special ecology-meliorative mapping, which reveals natural systems characterized by exceptional mosaic, complex, contrast and high spatial-temporal dynamics. The next step in the study of SPP in Western Siberia was the catenography and ecological-meliorative assessment of soil cover by the transect-caten method. This ecosystem approach to the natural-land reclamation assessment of the territory, based on the basin principle, has made it possible to combine several theoretical approaches in the study of soils and the structure of the soil cover by methods: relief plastics, profiling, katenirovaniya and key areas (transect-caten).*

**Keywords:** *soil cover structure, Western Siberia, catena, transect catena, melioration, Lake Chany, Yudinsky Ples, Barabinskaya Plain.*

## ДОКУЧАЕВСКИЙ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫЙ КОМПЛЕКС: ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМОВ

Ю.И. Чевердин<sup>1,3</sup>, М.Ю. Сауткина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Воронеж, cheverdin62@mail.ru

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии,  
Воронеж, sautmar@mail.ru

<sup>3</sup> Каменно-Степное опытное лесничество, Каменная Степь, ksolnauka@mail.ru

**Аннотация.** Проведены исследования изменения гумусного состояния черноземов под влиянием агролесомелиоративного состояния. Объектом исследований служил почвенный покров Каменной Степи находящийся в различном режиме использования: залежь 1882 г., широкая лесная полоса 1903 г посадки, пахотные участки.

**Ключевые слова:** лесные полосы, залежь, чернозем, гумус.

**Актуальность.** Посадка лесных насаждений в степном регионе юга европейской части России привела к коренному преобразованию природы и формированию новых несвойственных для данной территории лесокультурных ландшафтов. Изменение условий функционирования степных биоценозов параллельно с интенсификацией сельскохозяйственного производства в течение прошлого столетия привели к созданию антропогенно преобразованных агробиоландшафтов. Изменившиеся микроклиматические и экологические условия, растительный мир вызвали в свою очередь изменение направленности течение почвенных процессов, миграции и массопереносу энергии и биогенных элементов.

**Объекты исследований.** В связи этим целью наших исследований являлась оценка изменения гумусного состояния черноземов условиях длительного функционирования Докучаевского агролесомелиоративного комплекса (НИИСХ, Каменная Степь).

**Результаты и обсуждения.** Вопрос изучения содержания гумуса в почвах Каменной Степи имеет уже более чем 100 летнюю историю. Впервые описание и характеристика почвенного покрова была дана К.Д. Глинкой и Н.М. Сибирцевым в рамках работ особой экспедиции под руководством В.В. Докучаева (1892) [1]. По их данным, в то время количество гумуса колебалось от 6,74 до 11,45%. Наибольшие его величины были отмечены на левом берегу балки Таловая – 7,367–11,45%, несколько меньше на правом берегу – в среднем 7,953%. Более половины образцов – 56%, имели содержание гумуса от 7 до 9%. По современной классификации их можно отнести к среднегумусным. Содержание гумуса более 9% отмечено у 38% образцов. Всего ими было проанализировано 36 почвенных проб.

К.Д. Глинка (1913, 1921) проводя обследование почв Воронежской области отмечал, что обыкновенные черноземы Каменной Степи содержат 8,94% гумуса [2, 3].

Большой объем по исследованию почв Каменностепной опытной станции был проведен в 20-х годах прошлого века Г.М. Туминым [4, 5]. По его данным, более высокогумусными были участки, расположенные среди лесных полос, с максимальным содержанием на залежи в слое 1–5 см – 12,69–13,60%. В то время как на залежных участках открытой степи содержалось всего 10,91–11,27%. Такая же закономерность была отмечена и на пахотных участках. Среди лесных полос – 10,48–11,45%, в степи – 9,81–9,84%. Для слоя почвы 20–25 см эти значения составили соответственно 9,28–9,7%; 8,23–9,86%; 8,14–10,28 и 8,06–8,13%.

Н.В. Сергиевская (1934) в своем отчете, который хранится в библиотеке НИИСХ ЦЧП им.В.В. Докучаева, указывает, что мощные разновидности чернозема обыкновенного содержали в слое 0–20 см 9,5–9,6% гумуса, среднеспособные – 8,2–8,5% и маломощные – 7,2–7,4% гумуса.

З.С. Филипович (1938), обследуя почвы Каменно-степной опытной станции в 1936 г, пришел к выводу, что снижение содержания гумуса с момента начала проведения научно-

исследовательских работ (за 43 года) составило 1,5%. Вместе с тем он отмечает, что не удалось установить существенной разницы между почвами плато, склонов и выщелоченными разновидностями. По его определениям на плато под пашней в слое 0–14 см содержалось 7,78% гумуса, под лесной полосой № 40 – 7,68% (слой 10–20 см); пашня на склоне – 8,75% (0–10 см); лесная полоса – 8,94% (0–15 см); выщелоченные черноземы под лесной полосой № 40 – 8,02% (0–14 см) [6].

Исследованиями, проведенными в Каменной Степи М.И. Сучалкиной (1950, 1953), дана подробная характеристика органического вещества почвы различных сельскохозяйственных угодий и на различных агротехнических фонах. Максимальное количество общего углерода отмечено на залежи некосимой – 5,44% (9,38% гумуса), на травах 4 лет пользования – 5,31(9,15% гумуса) и поле паропропашного севооборота – всего 4,42% (7,62% гумуса). Отношение содержания гуминовых кислот к содержанию фульвокислот равнялось под травами 2,0 и на пашне 1,83. Причем отмечено, что на сеяных травах и на пахотном участке величина негидролизующего остатка составила 1,74–1,86% против 1,41% на залежи [7, 8].

В обыкновенном черноземе неустойчивого увлажнения Каменной Степи по данным М.М. Кононовой (1950) абсолютные значения количества разложившегося перегноя при бесменном паровании почвы в течение 10–12 лет весьма велики – они составляют 38–57 т/га. При сопоставлении этих значений с общим запасом перегноя получается, что минерализация органического вещества идет достаточно медленно и потери перегноя составляют 19–27% от его общего запаса. В то же время в условиях дерново-подзолистой почвы за тот же промежуток времени при бесменном паровании разложилось 43% от общего количества перегноя [9].

Большой вклад в изучение свойств почв Каменной Степи и их характеристику внесли исследования экспедиции АН СССР в 1949 – 1952 гг., проводившие обследования опытных полей института им. В.В. Докучаева. Так, по данным Н.Н. Никаноровой (1953), наибольшими запасами гумуса характеризовались залежные участки и почвы лесных полос. В лесной полосе № 40 в то время в слое почвы 3–8 см его содержание составляло 14,38%, в слое 0–22 см – 11,92%. На залежи некосимой в слое 0–10 см – 13,58%, 0–30 см – 12,11%, залежь косимая в слое 0–6 см – 14,33%, 0–35 см – 12,25%. На пахотных участках в верхнем горизонте 0–0 см – 9,0–10,99%, 0–30 (36) см – 8,11–10,07% [10].

По данным Ю.А. Агафоновой (2000), под лесной полосой № 40 в слое 0–10 см количество гумуса равнялось 8,78%, на залежи некосимой – 10,52%, косимой – 8,86, пашня 5 лет – 8,63%, пашня 105 лет – 6,68% постепенно снижаясь в горизонте 20–30 см до 6,83, 8,73; 8,03; 8,65 и 6,48% соответственно.

Таким образом, подводя итоги истории изучения гумусового состояния черноземов Каменной Степи можно отметить следующее. Если давать оценку изменения гумусового состояния черноземов Каменной Степи за весь период исследований, то необходимо отметить сохранившиеся высокое его содержание на залежных участках. Несмотря на большой объем проведенных исследований, трудно проследить реальные изменения содержания гумуса в почвах. Это обусловлено многими причинами. Во-первых, это различные способы определения гумуса. В частности, до того, как был предложен применяемый в настоящее время метод И.В. Тюрина, в практике почвоведения использовали метод Густавсона и Кноппа. Во-вторых, все исследователи производили отбор проб в разных местах без четкой привязки пробных площадок. В-третьих, на изменение гумусового состояния черноземов значительный отпечаток наложила хозяйственная деятельность человека. И в-четвертых, с учетом большой пространственной неоднородности почвенного покрова весьма проблематично дать объективную оценку изменения содержания гумуса в черноземах Каменной Степи.

Проведенные нами исследования в 2014 году показали, что максимальное содержание гумуса отмечается в почвах залежи косимой. Среднее его содержание в слое почвы 0–20 см составляет  $10,01 \pm 0,17\%$  при крайних граничных значениях 8,11% (минимум) и 11,14% (максимум). Коэффициент вариации содержания гумуса равнялся 7,91%. Квартильные значения на залежи косимой имели небольшой размах. Нижний квартиль был на уровне 9,68%, верхний – 10,48%. Размах квартильных значений составляет 0,8%.

Для более объективной оценки характеристики содержания гумуса нами была проведена оценка его варьирования в зависимости от генетических особенностей почвы. Максимальным количеством органического веществ на залежи косимой отличался чернозем типичный. В верхнем слое почвы 0-20 см содержание гумуса составило  $10,54 \pm 0,21\%$ . Близкие, но несколько меньшие показатели отмечены в черноземе обыкновенном и черноземе выщелоченном –  $10,17 \pm 0,28$  и  $10,06 \pm 0,29\%$  соответственно. Несколько более существенно меньшие показатели содержание гумуса характерны для чернозема перерытого –  $9,51 \pm 0,37\%$ , что является результатом активного перемешивания гумусового и карбонатного горизонта землероющими животными.

В почвах под лесной полосой продолжают сохранять благоприятные условия для генезиса черноземов и гумусонакопления. Но при этом необходимо отметить более низкий уровень содержания гумуса по отношению к почвам залежи. Под широкой лесной полосой среднее содержание гумуса в слое 0–20 см составило  $9,38 \pm 0,16\%$ , что на  $0,63\%$  ниже почв занятых естественной растительностью. При коэффициенте вариации  $10,5\%$  минимальные значения отмечены на уровне  $6,7\%$ , максимальные  $11,66\%$ . Нижний квартиль был на уровне  $8,8\%$ , верхний –  $10,0\%$  (размах  $1,2\%$ ). Таким образом, в отличие от почв степного участка можно констатировать увеличение степени варьирования и расширение размаха, как граничных значений, так и квартильных.

Максимальное количество органического вещества в слое почвы 0-20 см отмечено в черноземе типичном –  $9,63 \pm 0,24\%$ . Несколько меньшие значения свойственны чернозему выщелоченному и чернозему обыкновенному. Соответственно  $9,53 \pm 0,34\%$  и  $9,36 \pm 0,47\%$ . Зоотурбированный вариант чернозема максимально уступал по этому показателю и равнялся  $9,00 \pm 0,26\%$  гумуса.

Распашка степных почв приводит к заметным изменениям содержания гумуса в обрабатываемом слое почвы. По данным на 2014 г в пашне 1992 г распашки (22 года использования) среднее значение его содержания составило  $8,62 \pm 0,17\%$ . Минимальный показатель при этом отмечен на уровне  $7,99\%$ , максимальный  $9,59\%$ . Нижний квартиль был в пределах  $8,17\%$ , верхний –  $8,89\%$  гумуса. Коэффициент варьирования равнялся  $6,91\%$ . Таким образом можно отметить, что при распашке степных почв наряду с общим снижением содержания органического вещества происходит гомогенизация верхнего обрабатываемого слоя почвы, о чем свидетельствует уменьшение коэффициента варьирования и сужение диапазона варьирования квартильных значений –  $0,72\%$ .

Анализ содержания гумуса на подтиповом уровне показал следующее. Наибольшее его количество свойственно чернозему обыкновенному. В верхнем пахотном слое 0–20 см его величина составила  $9,44 \pm 0,16\%$ . Примерно на этом же уровне характерно было содержания органического вещества и на черноземе выщелоченном –  $9,15 \pm 0,34\%$ . Существенным образом в этом отношении уступал чернозем типичный и, особенно, чернозем перерытый. Средние величины составили  $8,46 \pm 0,22$  и  $8,12 \pm 0,07\%$ .

На пашне с максимальным сроком эксплуатации отмечается нарастание процессов деградации пахотных черноземов. На паше 1952 года (62 года использования) среднее значение содержания гумуса в слое почвы 0–20 см составило  $6,83 \pm 0,11\%$ . Минимальные показатели равнялись  $6,21\%$  максимальный –  $7,73\%$ . Коэффициент варьирования был минимальный –  $6,04\%$ . Значение нижнего квартиля было на уровне  $6,54\%$ , верхнего –  $6,98\%$ . Таким образом, размах квартильных значений составил  $0,44\%$ .

Чернозем выщелоченный и чернозем обыкновенный в этих условиях характеризовались одинаковым количеством содержания органического вещества в верхнем слое почвы 0–20 см –  $6,95\%$ . Зоогенотурбированный вариант чернозема несколько уступал в этом отношении и содержал  $6,74 \pm 0,16$  гумуса.

Еще несколько слов о профилном изменении содержания гумуса. Анализ экспериментальных данных показывает, что содержание гумуса по всей мощности гумусового профиля в почвах залежи и лесной полосы превышает аналогичные значения в почвах агроценозов. Причем если чернозем на залежи косимой в верхнем горизонте почвы 0–20 см имел самые

высокие значения содержания органического вещества, то в нижних горизонтах он был примерно на уровне почвы под лесной полосой. Выравнивание содержания гумуса в почвах с различным характером использования (лес и залежь) свидетельствуют о сохранении благоприятных биохимических условиях генезиса черноземных почв. Происходит аккумуляция поступающего в достаточном количестве свежего органического вещества. И условий для активного выщелачивания и подзолообразования под старовозрастной лесной полосой не образуются.

Интенсивное агрогенное воздействие приводит к активизации процессов минерализации и потерь гумуса не только в верхнем обрабатываемом слое. Существенное снижение содержания органического вещества отмечается по всему профилю почвы. Причем эти потери пропорциональны длительности использования почвы в качестве пашни. Так в слое почвы 30–50 см на залежи косимой количество гумуса составляет 7,36%, на пашне 1992 года снижается уже до 5,86% с последующим уменьшением до 5,37% на пашне 1952 года. Аналогичная закономерность отмечается и в более глубоких горизонтах почвы.

Анализ профильного изменения содержания гумуса по различным подтипам черноземов показал следующее. На залежи косимой для чернозема выщелоченного было характерно резкое снижение количества органического вещества от верхних горизонтов к нижним. Так, в слое 0–20 см содержалось  $10,06 \pm 0,29\%$  гумуса, в слое 30–50 см –  $7,07 \pm 0,48\%$ , в слое 50–70 см –  $3,75 \pm 0,51\%$  и в слое 70–100 см –  $1,71 \pm 0,07\%$ . По другим подтипам черноземов столь заметного изменения не выявлено. Например, на черноземе обыкновенном это ряд составил следующие величины –  $10,17 \pm 0,28$ ;  $7,03 \pm 0,06$ ;  $4,71 \pm 0,07$  и  $2,25 \pm 0,28\%$  гумуса. В черноземе типичном  $10,54 \pm 0,21$ ;  $7,90 \pm 0,45$ ;  $5,05 \pm 0,49$  и  $2,76 \pm 0,51\%$ . Некоторым исключением в этом отношении является чернозем перерытый с относительно равномерным распределением содержания гумуса по почвенному профилю связанное с перемешиванием почвенной толщи землеройными животными. Отмечается также более высокое содержание органического вещества в карбонатно-аккумулятивном горизонте.

**Выводы:** Таким образом, на содержание гумуса в черноземных почвах существенное влияние оказывает длительность и характер антропогенного влияния. Наши исследования по гумусовому состоянию на целине, лесной полосе, пашнях с различной длительностью использования свидетельствуют об изменении содержания гумуса. Уменьшение содержания гумуса при распашке почв естественных биоценозов неизбежно. Эти процессы связаны с уменьшением количества растительных и корневых остатков при усилении минерализации органического вещества, вызванного ежегодным перемешиванием пахотного слоя. В лесных ценоза, также как и почве залежи сохраняются условия для прогрессирующего гумусообразования.

### Литература

1. Глинка К.Д., Сибирцев Н.М., Отоцкий П.В. Оро-гидрография, геология, почвы и грунтовые воды. Хреновской участок // Труды экспедиции, снаряженной Лесным департаментом. СПб., 1894. Т. 1, вып. 1.
2. Глинка К.Д., Панков А.М., Миляровский К.Ф. Материалы по естественно-историческому изучению Воронежской губернии. Почвы Воронежской губернии // Предварительный отчет о почвенных исследованиях, проведенных в 1912 г. СПб., 1913. 61с.
3. Глинка К.Д. Геология и почвы Воронежской губернии. Воронеж, 1921. 60 с.
4. Тумин Г.М. Каменно-степная опытная станция и её достижения в борьбе с засухой при помощи лесных полос. Воронеж, 1926. 26 с.
5. Тумин Г.М. Влияние лесных полос на почву в Каменной Степи. Воронеж: Коммуна, 1930. 40 с.
6. Филиппович З.С. Почвы Каменно-степной опытной станции // Отчет о НИР. М., 1938. инв. № 113 фонды НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева. 116 с.
7. Сучалкина М.И. Изменение органического вещества обыкновенного чернозема при травопольной системе земледелия в Каменной Степи // Почвоведение. 1950. № 8. С. 449–455.
8. Сучалкина М.И. Динамика органических веществ почвы в травопольных севооборотах в условиях Каменной Степи // Вопросы травопольной системы земледелия. М.: Изд-во АН СССР, 1953. С. 361–381.

9. Кононова М.М О характере циклов накопления – разложения органических веществ в травопольных севооборотах в различных почвенно-климатических условиях // Почвоведение. 1950. № 11. С. 656–672.

10. Никанорова Н.Н. Естественно-исторические условия Каменной степи и характеристика основных почвенных разностей // Вопросы травопольной системы земледелия. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1953. С. 55–205.

11. Агафонова Ю.А. Агрохимическая характеристика почв ландшафтных фаций Каменной Степи: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Каменная Степь, 2000. 20 с.

## **DOKUCHAEV AGROFORESTRY COMPLEX: TENDENCIES OF CHANGES IN THE HUMUS STATUS OF CHERNOZEMS**

Yu.I. Cheverdin<sup>1,3</sup>, M.Yu. Sautkina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> V.V. Dokuchaev Scientific Research Institute of Agriculture of the Central-Chernozem zone, Voronezh, cheverdin62@mail.ru

<sup>2</sup> All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, Voronezh, sautmar@mail.ru

<sup>3</sup> Federal State Budgetary Scientific Institution «Stony Steppe experimental forestry», Kamennaya Step, ksolnauka@mail.ru

**Summary.** *The studies of the changes of the humus status of chernozems under the influence of the agroforestry status. The object of research was the soil cover of The stone Steppe located in different modes of use: a Deposit in 1882, a wide forest strip in 1903 planting, arable land.*

**Keywords:** *forest strips, Deposit, Chernozem, humus.*

## СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОГРАФО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ ЯКУТИИ

А.П. Чевычелов

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, chev.soil@list.ru

**Аннотация.** Изучены географо-генетические особенности трех типов мерзлотных почв (подзолов, солодей и черноземов), формирующихся в условиях резко континентального криоаридного климата и различных геоморфологических ярусов рельефа Центрально-якутской равнины, на рыхлых песчаных отложениях под таежной и степной растительностью. Показано, что генетическая сущность данных почв обусловлена формирующимися их элементарными почвенными процессами (ЭПП), протекающими на фоне криогенеза.

**Ключевые слова:** мерзлотные почвы, география, генезис, почвообразующие процессы, свойства и состав.

Якутскими почвоведом-мерзлотниками за годы их работы и в особенности в последнее время получены новые оригинальные данные по морфологии, генезису и географии мерзлотных почв, которые не получили до сих пор своего объяснения и требуют разработки новых подходов. Ситуация также усложнилась в связи с разработкой новой субстантивно-генетической классификации почв России [1], согласно принципам которой значительно сузился круг мерзлотных почв или набор почвенных типов, отражающих все разнообразие почв мерзлотной области. Поэтому целью представленной статьи являлось изучение географо-генетических особенностей трех типов мерзлотных почв Центральной Якутии, а именно подзолов, солодей и черноземов в связи с влиянием криогенеза.

Приведем географические характеристики и морфологическое строение данных почв. Разр. 1ВТр16-11 заложен в верхней части очень пологого склона (3-4°) северной экспозиции среднего уровня аллювиальной равнины. Географические координаты: 62°04'35,1" N, 129°26'41,3" E, абсолютная высота (Н) – 211 м. Сосняк с лишайниково-кустарничковый. Почва: подзол псевдофибровый. Морфологическое строение профиля: А0 (0-3) – А1 (3-8) – А2 (8-25) – Вtф (25-50) – В (50-75) – ВС (75-125) – С (125-138 см).

Разр. 2ВТр16-11 заложен примерно в 100 м на ЮВ от разр. 1ВТр16-11 на участке мелкой седловины в лишайнично-березовом мохово-кустарничковом лесу. Координаты разреза: 62°04'33,0" N, 129°26'41,6" E, Н – 208 м. Почва: подзол иллювиально-железистый. Строение профиля: А0 (0-5) – А2 (5-18) – В1f (18-44) – В2f (44-70) – ВС (70-110) – С (110-125 см).

Разр. 1ЧТ-03 заложен на пологом плосковогнутом склоне к оз. Б. Чабыда местного водораздела среднего уровня аллювиальной равнины в лишайничнике с березой кустарничковом. Географические координаты: 61°59'29,8" N, 129°22'55,3" E, Н – 206,7 м. Почва: солодь. Строение профиля: А0 (0-2) – А1А2 (2-12) – А2 (12-38) – Вt (38-52) – ВС (52-91) – С (91-130 см).

Разр. 2ЧТ-03 заложен на вершине гривного повышения в пределах второй надпойменной террасы р. Лена нижнего уровня аллювиальной равнины, в долине Туймаада. Координаты местозаложения разреза: 61°54'22,3" N, 129°33'29,2" E, Н – 102,7 м. Типчаково-осочковая степь. Почва: чернозем обыкновенный. Морфологическое строение профиля: Ad (0-1) – А (1-24) – АВ (24-35) – Вса (35-57) – ВСса (57-75) – С (75-150 см).

Разр. 1Т-07 заложен в нижней части крутого склона коренного берега р. Лена нижнего уровня аллювиальной равнины под прострелово-ковыльной ассоциацией. Географические координаты: 61°52'01,2" N, 129°30'43,2" E, Н – 124 м. Почва: чернозем выщелоченный. Строение профиля: Ad (0-1) – А (1-32) – АВ (32-54) – В (54-68) – ВСса (68-92) – Сса (92-150 см).

Все вышеописанные почвы формируются в окрестностях г. Якутск. Климат г. Якутск резко континентальный и засушливый с длительной крайне морозной и малоснежной зимой, коротким относительно жарким и засушливым летом. При этом среднемесячная температура июля составляет 18,7°C, января – (-43,2°C), среднегодовая t – (-10,3°C), среднегодовое коли-

чество осадков – 234 мм, количество осадков за вегетационный период – 158 мм, испаряемость – 502 мм, коэффициент увлажнения – 0,3, коэффициент континентальности – 302 и сумма активных температур – 1565°C [2].

При проведении исследований использовали общепринятые почвенные методы: сравнительно-географический, профильно-генетический и сравнительно-аналитический [3, 4], при этом химический состав, а также свойства почв определяли по стандартным методикам, принятым в почвоведении [5]. Диагностику исследуемых почв проводили в соответствии с Классификацией... [6] и региональной классификацией мерзлотных почв Якутии [7].

*Современные подходы к диагностике мерзлотных почв.* В настоящее время отмечаются два основных подхода к диагностике мерзлотных почв (табл. 1). Первый подход разработан и осуществлялся в работах известных почвоведов-мерзлотников О.В. Макеева [8], Л.Г. Еловской [7], А.К. Коноворовского [9], Д.Д. Саввинова [10] и других известных российских почвоведов. Второй подход разработан и реализован в новой классификации почв России [1] и WRB [11]. Автор данной статьи, являясь представителем Якутской почвенной школы, целиком разделяет первый подход к диагностике мерзлотных почв, реализованный в работах его старших коллег и товарищей. В соответствии с этим исследуемые почвы формируются в условиях сплошной криолитозоны Центральной Якутии с максимальной мощностью многолетне-мерзлых пород 350-400 м. Однако в связи с легким гранулометрическим составом их почвообразующих пород, представленных рыхлыми аллювиальными песчаными отложениями, криоморфные признаки выражены слабо. Это отражается в отсутствии или слабом проявлении в них морфологических признаков мерзлотного массообмена и связанного с криотурбациями полигонально-трещиноватого микрорельефа поверхности данных почв, а также – льдистой многолетней мерзлоты. Глубина протаивания в среднем составляет 1,5-2,0 м, при этом сезонноталый слой, как правило, подстилается горизонтом «сухой» многолетней мерзлоты. Это в целом соответствует современным представлениям о мерзлотности почв Якутии и степени ее проявления.

Т а б л и ц а 1

Основные подходы к диагностике мерзлотных почв

По О.В. Макееву [8], Л.Г. Еловской [7], А.К. Коноворовскому [9], Д.Д. Саввинову [10]	По классификации [1] и WRB
<p>1. Вне зависимости от глубины сезонного протаивания все почвы, подстилаемые многолетней мерзлотой, относятся к мерзлотным. В данных почвах в зимний период отмечается смыкание сезонной и многолетней мерзлоты.</p> <p>2. Эти почвы могут отличаться явно выраженными криоморфными признаками (криоземы, палевые) или не иметь их (подбуры, подзолы, черноземы).</p> <p>3. Для данных почв характерен мерзлотный тип температурного режима [11].</p>	<p>1. Глубина сезонного протаивания в криоземах – 0,5-1,0 м [1], в криосолях – до 1 м [12].</p> <p>2. Для этих почв характерны криоморфные признаки: многолетние устойчивые сегрегации льда, криотурбации, макро- и микроструктуры, сформированные криогенными процессами (плитчатые и блоковые макроструктуры) [1].</p>

Согласно второму подходу исследуемые почвы не являются мерзлотными и как следствие криогенные процессы не определяют их генезис. Но тогда возникает вопрос: «Каким образом и посредством каких почвенных процессов формируются сильно-дифференцированные по свойствам и составу почвы (табл. 2) с мощными элювиальными горизонтами А2 (13–26 см) в условиях засушливого климата Центральной Якутии?».

*О генетической сущности мерзлотных подзолов.* Нами выдвигается гипотеза формирования полнопрофильных подзолов в ландшафтно-климатических условиях Центральной Якутии за счет кратковременного поздневесеннего надмерзлотного переувлажнения оттаявшего слоя, сопровождающегося процессами оглеения и кислотного гидролиза с последующим выносом тонкодисперсных продуктов почвообразования в нижележащие горизонты почвенного профиля [13]. При этом главенствующая роль в формировании подзолистого процесса в данных условиях отводится местоположению почв в рельефе, дренирующим способностям поч-



вообразующих пород и наличием многолетней мерзлоты. В целом данный мерзлотный ЭПП может быть определен как *криогенное альфегумусовое оподзоливание*.

Т а б л и ц а 2

**Физико-химические свойства лесных почв Центральной Якутии**

Горизонт	Глубина, см	pH		Гумус, %	С <sub>ГК</sub> С <sub>Фк</sub>	Азот, %	Обменные катионы, смоль(экв)/кг почвы			Фракции, %	
		H <sub>2</sub> O	KCl				Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	H <sup>+</sup>	<0,001 мм	<0,01 мм
Подзол псевдофибровый, разрез 1ВТр16-11 [13]											
A0	0-3	5,0	4,2	64,9*	—	—	—	—	—	—	—
A1	3-8	4,8	4,0	13,6	0,7	0,115	6,8	3,4	1,6	4,5	8,8
A2	12-17	4,0	3,0	2,2	0,5	0,020	1,9	0,9	1,3	4,5	10,3
Btf	30-40	4,4	3,1	1,4	0,1	0,012	5,8	3,5	2,2	16,6	22,6
B	60-70	4,5	3,3	1,2	0	0,011	7,8	3,7	0,5	11,7	13,5
BC	90-100	5,0	3,8	0,9	0	0,008	5,5	3,1	0,2	8,6	11,6
C	125-135	5,8	4,2	0,4	—	0,005	4,6	3,5	0,2	6,1	8,9
Подзол иллювиально-железистый, разрез 2ВТр16-11 [13]											
A0	0-2	4,6	3,9	81,4*	—	—	—	—	—	—	—
A0A1	2-5	4,5	3,4	41,7*	1,2	0,254	9,5	3,8	5,1	4,7	11,7
A2	5-18	4,7	3,3	2,5	0,8	0,009	2,1	0,6	0,5	2,2	4,5
B1f	20-30	4,8	3,5	2,2	0,4	0,008	2,9	0,9	0,6	3,9	8,2
B2f	55-65	5,1	3,9	1,1	0	0,007	2,8	1,5	0,4	5,1	6,6
BC	80-90	6,0	4,1	1,0	0	0,006	2,7	1,6	0,3	5,5	6,5
C	110-120	6,4	4,4	0,7	0	0,004	2,6	1,0	0,3	2,9	3,7
Солодь, разрез 1ЧТ-03											
A0	0-2	5,6	5,0	75,6*	1,3	0,77	—	—	—	—	—
A1A2	2-12	5,4	4,4	5,2	0,9	0,13	7,3	1,8	Н.о.	6,6	9,5
A2	20-30	5,6	4,1	0,4	0,3	0,03	2,8	1,1	—/—	4,2	9,1
Bt	40-50	6,0	4,2	0,5	0,1	0,02	8,2	3,0	—/—	16,0	25,4
BC	70-80	6,2	4,7	0,2	0,1	0,01	5,6	2,1	—/—	6,2	11,1
C	110-120	6,6	5,1	—	—	—	2,8	1,2	—/—	2,1	5,0

*Примечание.* Звездочкой помечены значения потери при прокаливании. Прочерк – значение показателя не определено.

*О генетической сущности мерзлотных солодей.* Аналогичная гипотеза может быть предложена и для объяснения генезиса солодей, формирующих под лесной растительностью, но с определенными дополнениями. Во-первых, солоды в отличие от подзолов развиваются в трансаккумулятивных фациях ландшафтов, по западинам рельефа и характеризуются затрудненным внутрисочвенным дренажом. При этом в почвенных растворах накапливаются катионы Na<sup>+</sup> и Mg<sup>+2</sup>, обуславливающие солонцеватость почвенно-поглощающего комплекса почв и щелочную реакцию среды. В этом случае разрушение алюмосиликатной части почв и вынос тонкодисперсных продуктов в нижележащие иллювиальные горизонты происходит под влиянием щелочного гидролиза, а относительное накопление SiO<sub>2</sub> в элювиальном гор. A2 отмечается в форме аморфной кремнекислоты, а не в виде остаточного кварца, как это наблюдается в подзолах. Но также как и в подзолах этот основной мерзлотный ЭПП, способствующий формированию солодей в ландшафтно-климатических условиях Центральной Якутии, можно определить как *криогенное осолодение*.

*О генетической сущности мерзлотных черноземов.* Мерзлотные черноземы Якутии являются автоморфным типом почв и формируются по мезоповышениям надпойменных террас и склонам южных экспозиций коренного берега, под степными ассоциациями в долине Средней Лены в пределах нижнего высотного уровня (100–140 м) Центрально-Якутской равнины в условиях котловинно-депрессийной зональности почвенно-растительного покрова [14]. В зависимости от положения в рельефе мерзлотные черноземы подразделяются на два подтипа – черноземы обыкновенные и черноземы выщелоченные (табл. 3).

## Физико-химические свойства черноземов Центральной Якутии и Западной Сибири

Горизонт	Глубина, см	рН водн.	Гумус, %	С <sub>гк</sub> С <sub>фк</sub>	Азот, %	Обменные катионы, смоль (экв)/кг почвы			Фракции, %		СО <sub>2</sub> карб., %
						Са <sup>+2</sup>	Мg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	<0,001 мм	<0,01 мм	
Чернозем обыкновенный, разрез 2ЧТ-03 (Центральная Якутия)											
А	1–11	6,3	5,4	1,8	0,35	15,4	2,4	1,8	6,6	14,4	Н.о.
А	12–22	6,9	4,4	–	0,21	20,0	2,9	1,6	10,7	21,7	–/–
АВ	25–35	7,5	2,9	2,3	0,09	18,0	5,3	3,0	10,3	29,5	–/–
В <sub>са</sub>	40–50	7,8	1,4	0,3	0,06	18,7	11,1	2,3	11,5	28,2	3,2
В <sub>Сса</sub>	60–70	8,2	0,6	0,2	0,03	8,3	6,3	0,7	6,6	14,4	2,8
С	90–100	7,5	0,1	–	–	3,3	2,6	0,3	3,3	4,5	–/–
Чернозем выщелоченный, разрез 1Т-07 (Центральная Якутия)											
Ad	0–1	6,9	5,9	1,6	0,19	22,7	7,7	1,8	7,4	12,0	Н.о.
А	2–12	6,6	4,3	1,8	0,17	18,5	7,2	1,2	11,3	19,3	–/–
А	20–30	6,7	2,1	1,3	0,10	19,6	9,3	1,1	13,0	23,0	–/–
АВ	40–50	7,0	1,9	0,6	0,09	17,5	10,0	1,3	14,5	24,3	–/–
В	55–65	7,5	1,7	–	0,07	15,1	10,2	1,3	14,8	24,7	–/–
В <sub>Сса</sub>	70–80	8,1	1,6	0,9	0,05	13,9	10,8	1,3	15,9	23,4	1,4
С <sub>са</sub>	120–130	8,1	–	–	–	–	–	–	15,0	25,4	2,7
Чернозем обыкновенный, точка 12 (Западная Сибирь) [15]											
АдА <sub>1</sub>	0–10	7,7	3,9	1,2	0,23	22,0	2,4	0,4	28,1	36,2	0,7
А <sub>1</sub>	10–20	7,8	2,8	–	0,16	22,3	2,6	0,3	24,4	37,9	0,9
АВ	20–30	7,9	2,7	1,2	0,19	22,5	3,0	0,7	23,7	37,2	0,4
В <sub>1</sub>	30–40	7,9	2,6	–	0,13	20,7	2,6	0,5	25,6	37,2	0,4
	40–50	7,9	1,5	–	0,10	20,7	2,1	0,5	25,1	34,6	0,1
	50–60	8,0	1,0	–	0,07	17,7	2,4	–	26,4	36,2	0,1
В <sub>2к</sub>	70–80	8,1	0,8	–	0,07	16,3	2,1	–	24,8	34,9	3,5
В <sub>Ск</sub>	80–90	8,1	0,4	–	–	15,3	2,4	–	23,7	33,6	4,4
В <sub>Ск</sub>	90–100	8,2	0,4	–	–	13,6	3,0	–	22,4	32,2	4,1
С <sub>к</sub>	100–110	–	–	–	–	–	–	–	23,0	31,7	3,8

Оба данных подтипа формируются в условиях криоаридного климата, при этом почвы второго подтипа характеризуются повышенным увлажнением. Мерзлотные черноземы Якутии по своим географо-генетическим особенностям формирования свойств и состава довольно схожи с сезонномерзлотными черноземами обыкновенными Западной Сибири [15]. Однако кардинальным отличием первых почв от последних является наличие в их профиле горизонта многолетней мерзлоты, идентифицирующего специфику криогенного почвообразования.

**Выводы:**

1. Почвы, развивающиеся на многолетне-мерзлых породах в условиях холодного климата, вне зависимости от глубины сезонного протаивания и наличия криоморфных признаков должны относиться к мерзлотным.
2. Криогенные почвообразовательные процессы имеют решающее значение для формирования свойств, состава и режимов мерзлотных почв.

**Литература**

1. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
2. Чевычелов А.П., Скрыбыкина В.П., Васильева Т.И. Географо-генетические особенности формирования свойств и состава мерзлотных почв Центральной Якутии // Почвоведение. 2009. № 6. С. 648–657.
3. Роде А.А. Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука, 1971. 92 с.
4. Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 320 с.
5. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
6. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.

7. Еловская Л.Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. 172 с.
8. Макеев О.В. Почвенный криогенез. Пушино, 1985. 40 с.
9. Коновровский А.К. Зональность и мерзлотность почв Якутии. Якутск, 1990. 43 с.
10. Саввинов Д.Д. Физика мерзлотных почв: Избранные труды. Новосибирск: Наука, 2013. 504 с.
11. Димо В.Н., Розов Н.Н. Термические критерии как основа фациально-провинциального разделения почв // Почвоведение. 1974. № 5. С. 12–22.
12. Таргульян В.О., Герасимова М.И. Мировая коррелятивная база почвенных ресурсов: основа для международной классификации и корреляции почв. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. 278 с.
13. Скрыбыкина В.П. Подзолы Центральной Якутии // Наука и образование. 2017. № 2. С. 83–90.
14. Чевычелов А.П., Скрыбыкина В.П. Новые подходы к зональности почвенного покрова Восточной Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2005. № 15. С. 214–217.
15. Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы / отв. ред. Р.В. Ковалев. Новосибирск: Наука, 1974. 307 с.

## CURRENT GEOGRAPHICAL AND GENETIC PROBLEMS OF PERMAFROST SOILS OF YAKUTIA

A.P. Chevychelov

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, chev.soil@list.ru

**Summary.** *In this study we describe geographical and genetic features of three types of permafrost soils (podzols, chernozems and soloth soils) that form on loose sandy sediments under taiga and steppe vegetation in the conditions of an extracontinental cryoarid climate and different geomorphological layers of the relief of the central Yakutian plain. Here we also show that the genetic essence of these soils depends on the elementary soil-forming processes occurring in the permafrost.*

**Keywords:** *permafrost soils, geography, genesis, soil formation processes, properties and composition.*

## КРИОГЕННОЕ ПОЧВЕННОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ЛЕДОВОГО КОМПЛЕКСА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ, СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ

А.Г. Шепелев

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, carbon-shag@yandex.ru

**Аннотация.** Показано, что в деятельном слое ледового комплекса законсервировано 53% органического углерода от общих запасов. В защитном (переходном) слое – 31%, а в многолетнемерзлом слое – 16%. Низкое содержание лабильного органического вещества в переходном и нижнем слоях указывает на то, что формирование ледового комплекса происходило, возможно, в условиях дефицита органического материала, или органические частицы разрушились под действием длительного влияния отрицательной температуры.

**Ключевые слова:** органический углерод, лабильное органическое вещество, ледовый комплекс, многолетнемерзлые породы.

**Актуальность.** Многолетняя мерзлота (ММ) распространена на территории 22,8 млн км<sup>2</sup>, занимая около 24% суши в северном полушарии, в том числе 60% территории России [1, 2]. ММ является динамичным природным явлением северных широт и горных районов планеты. Характеризуется двумя основными признаками: наличием высокой льдистости многолетнемерзлых пород (ММП) среднеплейстоценового возраста и нестабильностью термического равновесия. В многолетней мерзлоте сокрыто колоссальное количество биогенных элементов в разнообразной форме различной степени разложения, которое в результате изменения климата, а также разрушения приведет к высвобождению в атмосферу законсервированного углерода в виде парниковых газов – CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>. В современных условиях, когда меняется природная среда вокруг циркумполярной области, остается открытым вопрос, какие причины обуславливают возникновение деградиционных процессов в области распространения многолетней мерзлоты? Они могут быть вызваны естественными и антропогенными обстоятельствами, приводящие к образованию своеобразных бореальных ландшафтов. Следует ожидать, что природные процессы протекают медленно в геологическом времени, их скорость несопоставима с активностью процессов, происходящих вследствие влияния антропогенных факторов. Наблюдаемые изменения [3–6] за антропогенной составляющей получают все большее развитие и оказывают превалирующее воздействие на эволюцию многолетнемерзлых толщ в региональном масштабе в связи с повышением температуры ММП.

По данным исследователей [7–9] в циркумполярной области законсервировано 1307 Гт почвенного углерода, что составляет примерно 50% глобального пула подземного углерода. В верхнем метре почвы депонировано 472 Гт органического углерода (C<sub>орг</sub>), а для мощности 2 м – 355 Гт C<sub>орг</sub> [4, 10]. Другими авторами показано [11], что около 67% C<sub>орг</sub> наземных экосистем накапливается в почве – 1395 Гт из этой величины, 192 Гт C<sub>орг</sub> принадлежит к бореальным лесам, где он депонирован в основном в толще ММ. Суровость климата циркумполярной области, обуславливает низкую первичную продуктивность [12] растительных сообществ, что влияет на объемы поступления и накопления органических остатков в мерзлотных почвах, тем не менее, они выступают в роли аккумулятора органического вещества в северных широтах. Одной из ведущих ролей в функционировании почвенного покрова и его развития принадлежит лабильному органическому веществу почвы (ЛОВ), включающему растительные остатки разной степени разложения и гумификации. Запасы ЛОВ в почве зависят от типа растительности [13], оборачиваемости по профилю почвы, климатических особенностей территории и ландшафтной обстановки конкретного района. При повышении температуры почвы и интенсивном разрушении ММП, они будут доступными для микробного разложения из более глубоких горизонтов [14]. Изучение почвенного органического вещества и ЛОВ в его составе, позволят ориентировочно оценить состояние мерзлотных почв в

призме стадийного развития многолетней мерзлоты, идущего по нескольким сценариям: 1) деградация ММП в результате криогенных процессов, 2) устойчивые ММП – незатронутые совокупностью криогенных процессов, 3) антропогенно-нарушенные ММП.

Цель исследования – определить исходные количества  $C_{орг}$  и ЛОВ почвы на ледовом комплексе Центральной Якутии. В будущем, полученные данные могут быть использованы, как наглядные показатели снижения или увеличения запасов почвенного органического вещества в бореальном регионе, а также для проведения ретроспективного анализа.

**Объекты и методы исследования.** Исследования проводили на мониторинговом полигоне «Чюйя» Института мерзлотоведения им.П.И. Мельникова СО РАН, на правом берегу р. Лена. В ландшафтном отношении полигон исследований относится к Лено-Амгинской аласной провинции физико-географической страны Средняя Сибирь [15]. Район характеризуется широким развитием термокарстовых форм рельефа [16] и представляет собой типичный ландшафт Центральной Якутии, содержащий мощный ледовый комплекс (ЛК) и аласы. ЛК на ненарушенных участках встречаются на глубине 2–2,5 м. Ширина его верхней части изменяется от 1–1,5 до 2,5–3 м. Глубина сезонного оттаивания почвы варьирует от 1,2 до 2,5 м в зависимости от ландшафтных условий [17]. Территория приурочена к аккумулятивной пологоводно-ледниковой равнине. Отложения ЛК в Центральной Якутии формировались в условиях позднего плейстоцена, – от  $13700 \pm 530$  до  $22300 \pm 1200$  лет назад при температуре грунтов не выше  $-10^\circ\text{C}$  [18]. Климат Центральной Якутии резкоконтинентальный, проявляется в больших амплитудах и резкой смене температур между самым холодным месяцем январем и самым теплым – июлем. Зимние температуры колеблются от  $-35^\circ\text{C}$  до  $-45^\circ\text{C}$  и ниже. Сумма положительных температур выше  $10^\circ\text{C}$  составляет  $1400^\circ\text{--}1600^\circ\text{C}$ , а среднегодовое количество осадков выпадает в пределах 200–300 мм [19]. В почвенно-географическом районировании территория приурочена к умеренно-холодному поясу Восточно-Сибирской мерзлотно-таежной области и Центрально-Якутской провинции среднетаежной подзоны мерзлотно-таежных и палевых почв [20]. Почва полигона исследований: палевая оподзоленная на легкосуглинистых отложениях.

Образцы почвы с разреза ЛК отбирали до верхней границы многолетнемерзлых пород – 250 см. После завершения отбора проб на биогенные элементы приступали к забору плотности почвы в естественном сложении с помощью стальных цилиндров объемом  $100 \text{ см}^3$ . Образцы почвы для проведения анализов и расчета плотности почвы взяты через каждые 10 см в 3-кратной повторности. Воздушно-сухие образцы растирали и пропускали через сито с диаметром ячейки 0,5 мм, крупные корни удаляли из образцов. Содержание органического углерода и азота в деятельном слое мерзлотно-палевой оподзоленной почвы, а также в многолетнемерзлых породах ЛК определяли на элементном анализаторе SN «Thermoscientific Flash 2000» при температуре сжигания образцов –  $900^\circ\text{C}$ . Перед загрузкой образцов почвы в автосемплер прибора, проводили их досушивание в термическом шкафу при температуре  $40^\circ\text{C}$ , чтобы исключить воду и искажение результатов анализа.

Лабильный углерод ( $C_{лаб}$ ) определяли в непосредственной вытяжке 0,1 М NaOH и суточной экспозиции. Для коагуляции илистых частиц и ускорения фильтрации использовали насыщенный раствор  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  [21]. Углерод детрита ( $C_{детрита}$ ) отслеживали методом отделения этой фракции с помощью тяжелой жидкости NaI с плотностью  $1,8 \text{ г/см}^3$  [22]. Запасы  $C_{орг}$  и азота (N) рассчитывали для каждого 10 см слоя почвы. Кроме того, проведены расчеты запасов для элементарных слоев ММ: деятельный слой почвы – 0–120 см, защитный слой – 120–200 см и многолетнемерзлый слой – 200–250 см. Расчет запасов  $C_{орг}$  и N проводили по формуле:

$$S = HpX,$$

где  $S$  – запасы  $C_{орг}$  и N в почве ледового комплекса,  $\text{кг/м}^2$ ;  $H$  – слой почвы, см;  $p$  – плотность почвы,  $\text{г/см}^3$ ;  $X$  – среднее содержание  $C_{орг}$  и N в почве ледового комплекса, %.

Статистическая обработка полученных данных проводилась в программе StatSoft STATISTICA for Windows 6.1. Данные представлены в виде средних арифметических со стандартными отклонениями.

**Обсуждение результатов.** Исследования верхней границы ММП представляет повышенный интерес на предмет содержания в них органических веществ. Почвенное органическое вещество (ПОВ) образуется за счет поступления фитомассы живых организмов, которое затем накапливается на поверхности деятельного слоя почвы, а также находится в более глубоких толщах мерзлоты. Оговорим, что нахождение органического вещества в ММП это результат не только текущей аккумуляции, а еще и законсервированная часть предыдущей геологической эпохи, плейстоцена. Следовательно, почвенное органическое вещество образовалось из двух геологических эпох: плейстоцена и голоцена. Одна часть ПОВ имеет «старое» происхождение и сконцентрирована глубже деятельного слоя почвы, а другая – постоянно обновляющаяся и функционирующая имеет современный генезис.

В таблице приведены анализы ПОВ для элементарных слоев ЛК. Как видно, максимальными запасами обладает деятельный слой за счет наличия в нем полуразложившихся и разложившихся растительных остатков, в том числе живых корней. С глубиной по профилю ЛК запасы снижаются в 3 раза. Содержание N как и его запасы, по расчетам имеют очень низкие показатели, что характерно для палеовой оподзоленной почвы, сформированной в бо-реальных условиях. Специфичность условий обусловлена тем, что процессы деструкции иминерализации органического вещества интенсивно происходят в верхнем ежегодно оттаивающем и прогревом горизонте почвы. При этом в течение лета из мерзлого нижележащего горизонта, восходящими потоками поднимается отрицательная температура к более теплым слоям почвы, вследствие этого ресурсов почвы на минерализацию поступившей растительной массы недостаточно, поэтому N образуется лишь незначительная часть. Отношение C/N служащее показателем обогащенности гумуса азотом, в деятельном слое равно 21, с глубиной C/N не меняется. Это свидетельствует о том, что почва, развитая на ЛК в целом обеднена N и косвенно указывает на низкую минерализацию ПОВ.

#### Количественная характеристика почвенного органического вещества ЛК

Дифференциация ЛК на элементарные слои	Пласт элементарного слоя, см	Содержание в подстилке, %		Содержание в почве (ММП), %		C/N	Запасы, кг/м <sup>2</sup>		Содержание ЛОВ, г/кг почвы		% от C <sub>орг</sub>	
		C	N	C <sub>орг</sub>	N		C <sub>орг</sub>	N	C <sub>лаб</sub>	C <sub>дет рита</sub>	C <sub>лаб</sub>	C <sub>дет рита</sub>
		43,0±0,40	1,65±0,01									
Деятельный	0–120	–	–	3,0±0,04	0,14±0,01	21±0,3	20,5±0,1	1,24±0,01	52±0,50	117±2,70	18	40
Защитный	120–200	–	–	1,2±0,01	0,06±0,01	20±0,1	11,9±0,1	0,54±0,01	4±0,01	2±0,01	3	2
Многолетне-мерзлый	200–250	–	–	1,0±0,03	0,05±0,01	20±0,1	6,3±0,2	0,35±0,01	11±0,40	2±0,01	12	2
Сумма							38,7	2,13				

Примечание. ± стандартное отклонение (n=3).

Лабильное органическое вещество имеет контрастный характер залегания в ММП. Содержание ЛОВ наибольшее в деятельном слое и очень низкое в двух последующих слоях. В деятельном слое степень разложения ЛОВ регулируется влажностью и температурой, поскольку в теплый летний сезон этот слой прогревается больше, чем защитный и многолетне-мерзлый слои. Показано [23], что разложение устойчивых соединений органического вещества при низкой температуре задерживается сильнее, чем лабильных. Необходимо также отметить действие почвенного азота, влияющего на минерализацию органического вещества почвы; при высоком содержании азота в растительных тканях или в почве разложение ускоряется, инициируемая азотом быстрая минерализация лабильных компонентов приводит к уменьшению запасов углерода [24]. Наоборот, низкие показатели азота в почве ингибируют минерализационные процессы и образование лабильных форм органического вещества.

**Заключение.** Суммарные запасы органического углерода и азота в исследованном ледовом комплексе в Центральной Якутии мощностью 250 см оцениваются в 38,7 кг/м<sup>2</sup> и 2,13 кг/м<sup>2</sup> соответственно. В почвенном органическом веществе преобладает фракция углерода детрита; с глубиной содержание углерода детрита снижается в 58 раз, а лабильного углерода от 5 до 13 раз. Возможно, низкое содержание фракций лабильного органического вещества вглубь по профилю ледового комплекса объясняется низкими исходными запасами либо истощением, утратой своих анатомических частиц в результате долгого захоронения в экстремальных условиях климата.

### Литература

1. Общее мерзлотоведение / отв. ред. П.И. Мельников, Н.И. Толстихин. Новосибирск: Наука, 1974. 291 с.
2. Zhang T., Heginbottom J. A., Barry R. G., Brown J. Further statistics of the distribution of permafrost and ground ice in the Northern Hemisphere // *Polar geography*. 2000. № 2. P. 126–131.
3. Vonk J. E., Sanchez-Garcia L., van Dongen B.E., Alling V., Kosmach D., Charkin A., Semiletov I.P., Dudarev O.V., Shakhova N., Roos P., Eglinton T.I., Andersson A., Gustafsson O. Activation of old carbon by erosion of coastal and subsea permafrost in Arctic Siberia // *Nature*. 2012. Vol. 489. P. 137–140.
4. Hugelius G., Strauss J., Zubrzycki S., Harden J. W., Schuur E. A. G., Ping C.-L., Schirrmeister L., Grosse G., Michaelson G. J., Koven C. D., O'Donnell J. A., Elberling B., Mishra U., Camill P., Yu Z., Palmtag J., Kuhry P. Estimated stocks of circumpolar permafrost carbon with quantified uncertainty ranges and identified data gaps // *Biogeosciences*. 2014. Vol. 11. P. 6573–6593.
5. Moni Ch., Lerch T. Z., de Zarruk K. K., Strand L. T., Forte C., Certini G., Rasse D. P. Temperature response of soil organic matter mineralisation in arctic soil profiles // *Soil Biology and Biochemistry*. 2015. Vol. 88. P. 236–246.
6. Schuur E.A.G., McGuire A.D., Schadel C., Grosse G., Harden J.W., Hayes D.J., Hugelius G., Koven C.D., Kuhry P., Lawrence D.M., Natali S.M., Olefeldt D., Romanovsky V.E., Schaefer K., Turetsky M.R., Treat C.C., Vonk J.E. Climate change and the permafrost carbon feedback // *Nature*. 2015. Vol. 520. P. 171–179.
7. Kuhry P., Grosse G., Harden J. W., Hugelius G., Koven C. D., Ping C.-L., Schirrmeister L., Tarnocai C. Characterisation of the permafrost carbon pool // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2013. Vol. 24. P. 146–155.
8. Schepaschenko D.G., Shvidenko A.Z., Mukhortova L.V., Vedrova E.F. The pool of organic carbon in the soils of Russia // *Eurasian Soil Science*. 2013. Vol. 46, № 2. P. 107–116.
9. Bartsch A., Widhalm B., Kuhry P., Hugelius G., Palmtag J., Siewert M.B. Can C-band synthetic aperture radar be used to estimate soil organic carbon storage in tundra? // *Biogeosciences*. 2016. Vol. 13. P. 5453–5470.
10. Siewert M.B., Hanisch J., Weiss N., Kuhry P., Maximov T.C., Hugelius G. Comparing carbon storage of Siberian tundra and taiga permafrost ecosystems at very high spatial resolution // *Journal of Geophysical Research – Biogeosciences*. 2015. Vol. 120. P. 1973–1994.
11. Честных О.В., Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И. Общие запасы биологического углерода и азота в почвах лесного фонда России // *Лесоведение*. 2004. № 4. С. 30–42.
12. Rodionow A., Flessa H., Kazansky O., Guggenberger G. Organic matter composition and potential trace gas production of permafrost soils in the forest tundra in northern Siberia // *Geoderma*. 2006. Vol. 135. P. 49–62.
13. Shang W., Wu X., Zhao L., Yue G., Zhao Y., Qiao Y., Li Y. Seasonal variations in labile soil organic matter fractions in permafrost soils with different vegetation types in the central Qinghai–Tibet Plateau // *Catena*. 2016. Vol. 137. P. 670–678.
14. Mueller C.W., Rethemeyer J., Kao-Kniffin J., Loppmann S., Hinkel K. M., Bockheim J. Large amounts of labile organic carbon in permafrost soils of northern Alaska // *Global Change Biology*. 2015. Vol. 21. P. 2804–2817.
15. Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. Масштаб 1:2 500 000 / под общ. ред. П.И. Мельникова. М.: ГУГК, 1991. 2 л.
16. Соловьев П.А. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 143 с.
17. Фёдоров А.Н., Константинов П.Я. Реакция мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии на современные изменения климата и антропогенные воздействия // *География и природные ресурсы*. 2009. № 2. С. 56–62.

18. Катасонов Е.М., Иванов М.С., Пудов Г.Г., Зигерт Х. Строение и абсолютная геохронология аласных отложений Центральной Якутии. Новосибирск: Наука, 1979. 95 с.
19. Гаврилова М.К. Климат Центральной Якутии. Якутск: Якутское книжное изд-во, 1962. 63 с.
20. Почвенно-географическое районирование СССР (в связи с сельскохозяйственным использованием земель) / отв. ред. П.А. Летунов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 422 с.
21. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 220 с.
22. Ганжара Н.Ф. Почвоведение. М.: Агроконсалт, 2001. 392 с.
23. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
24. Fog K. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter // Biological Reviews. 1988. Vol. 63. P. 433–462.

## **CRYOGENIC SOIL ORGANIC MATTER OF ICE COMPLEX IN CENTRAL YAKUTIA, NORTH-EASTERN SIBERIA**

A.G. Shepelev

Melnikov Permafrost Institute SB of RAS, Yakutsk, carbon-shag@yandex.ru

**Summary.** *It is shown that 53% of organic carbon is stored in the upper part of the active layer of the ice complex from total reserves. In the protective (transition) layer – 31%, and in the permafrost layer – 16%. The low content of labile organic matter in the transition and lower layers indicates that the formation of the ice complex occurred, possibly, under conditions of a deficiency of organic material, or organic particles collapsed under the influence of a prolonged effect of negative temperature.*

**Keywords:** *organic carbon, labile organic matter, ice complex, permafrost.*



# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ОСНОВЫ В ЧЕРНОЗЕМАХ

В.Н. Шоба

Сибирский НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства СФНЦА РАН, Краснообск, sibsoil@mail.ru

**Аннотация.** Определены коэффициенты активности мишалов глинистых минералов и рассчитан равновесный состав тонких коллоидов в черноземах. Показано, что основным компонентом тонких коллоидов являются слоистые минералы со структурой 2:1 при подчиненном значении гумусовых кислот и минеральных фаз постоянного состава. Физико-химическое моделирование указывает на усиление оглинивания высокодисперсной минеральной основы при слабом подкислении почв или внесении хлористого калия.

**Ключевые слова:** тонкие коллоиды, равновесия, мишалы, растворы, глинистые минералы, гумусовые кислоты, оглинивание.

**Актуальность.** Высокодисперсная минеральная основа – наиболее активная часть почвы, содержащая вторичные минералы различного состава, строения и свойств. Среди вторичных минералов центральное место занимают глинистые трехслойные минералы, которые обладая переменным составом и большой поверхностью определяют важнейшие химические, физические и физико-химические свойства почв, играют важную роль в адсорбции гумусовых веществ и составляют основу глино-гумусовой плазмы почв [1–4]. В настоящее время имеется большое количество работ по изучению состава, структуры и свойств глинистых минералов в различных природных образованиях. Однако количественный анализ взаимодействия глинистых минералов с растворами и расчет их равновесий изучены слабо. Это обусловлено сложностью проблемы и отсутствием способов определения коэффициентов активности «мишалов» в таких минеральных системах. Цель настоящей работы показать возможности количественного анализа равновесий глинистых минералов в почвах на основе определения коэффициентов активности мишалов с использованием метода физико-химического моделирования [5].

**Теоретические положения.** Ключевым в термодинамическом анализе равновесий является понятие *химический потенциал* компонента, определяющий направление химической реакции и состояние химического равновесия. В самом общем виде свободная энергия Гиббса ( $G$ ) системы при заданных параметрах  $P$ ,  $T$  и состава равна

$$G = \sum_{i=1}^k \mu_i X_i ,$$

где  $\mu_i$  – химический потенциал компонента  $i$ ,  $X_i = m_i / \sum m_k$  – мольная доля компонента,  $m_i$  – число молей компонента  $i$ ,  $\sum m_k$  – общее число молей,  $k$  – количество химических компонентов системы.

Для реальных (неидеальных) растворов

$$\mu_i = \mu_0 + RT \ln a_i = \mu_0 + RT \ln X_i + RT \ln \gamma_i,$$

где  $\mu_0$  – стандартный потенциал компонента,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $a_i = X_i \cdot \gamma_i$  – активность,  $\gamma_i$  – коэффициент активности компонента  $i$ .

Термодинамическое моделирование и расчет равновесий в многокомпонентных и гетерофазных системах проводится на основе минимизации потенциала Гиббса систем [5, 6]. Согласно принципу двойственности оптимального программирования минимуму функции прямой задачи соответствует максимум двойственной задачи, то есть выполняется равенство

$$\min \sum_{i=1}^k \mu_i X_i = \max \sum_{j=1}^N u_j n_j .$$

В терминах постановки задачи термодинамического моделирования используются понятия зависимого и независимого компонента. Зависимые компоненты ( $X_i$ ) – это компоненты

определенного химического состава с определенной стехиометрией ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  и другие), для которых известны значения стандартных изобарно-изотермических потенциалов образования ( $\Delta G^{\circ}_f$ ). Независимые компоненты ( $n_j$ ) – химические элементы Al, Fe, Si, Ca, H, O и другие, для которых на основе принципа двойственности рассчитываются химические потенциалы ( $\mu_j$ ). В равновесном состоянии достигается минимум функции произведений мольных количеств на химический потенциал зависимых компонентов и максимум аналогичной функции, только относящейся к независимым компонентам.

**Объекты и методы исследований.** Объекты исследований – гумусовые горизонты черноземов различных подтипов (выщелоченных, типичных, обыкновенных, лугово-черноземных почв) [7]. При исследовании высокодисперсной минеральной основы черноземов основное внимание было уделено фракции тонких коллоидов ( $< 0,08$  мкм). В почвах Западной Сибири, формирующихся на покровных суглинистых отложениях, фракция тонких коллоидов состоит в основном из смешанослойных минералов с неупорядоченным чередованием иллитовых и монтмориллонитовых (или вермикулитовых) пакетов и содержит небольшие количества каолинита. Более крупные фракции почвенного ила, такие как предколлоидная (1–0,2 мкм) и крупные коллоиды (0,2–0,08 мкм), наряду с глинистыми минералами 2:1 и каолинитом, содержат также тонкодисперсный кварц, хлориты, слюды и другие минералы [3, 8, 9]. Тонкие коллоиды выделены на центрифуге методом трехкратного разминания и отмучивания без использования химических реактивов.

Расчет равновесий проводился программным комплексом «Селектор» в открытой к атмосфере системе по независимым компонентам Si–Al–Fe–Ca–Mg–Mn–K–Na–GbGc–Cl–S–C–N–H–O. В данном списке GbGc – органическая составляющая фазы черных гуминовых и связанных с ними фульвокислот состава  $\text{C}_{20}\text{H}_9\text{O}_9\text{N}$  [10]. На практике при минимизации потенциала Гиббса в открытых системах, содержащих обычные количества водного раствора (1 л) и твердых фаз (1 кг), задается достаточно большой объем воздуха, например 100 кг, что обеспечивает практически постоянное значение парциальных давлений и химических потенциалов газовых компонентов. Используемые в расчетах значения стандартных изобарно-изотермических потенциалов образования зависимых компонентов водного раствора, газов и минеральных фаз постоянного состава взяты из опубликованных работ и справочников [11–13].

**Результаты исследований.** Определение общего выхода фракций показывает, что содержание илистой фракции в черноземах изменяется от 19,7 до 26,0 %, а тонких коллоидов – от 8,6 до 13,5 %. Результаты рентгеноструктурного анализа свидетельствуют о том, что в тонких коллоидах преобладают диоктаэдрический иллит и смешанослойные иллит-монтмориллонитовые структуры при незначительном содержании каолинита. Поскольку присутствующие в тонких коллоидах почв иллиты, смектиты и смешанослойные иллит-смектиты характеризуются сходной структурой, в дальнейшем они рассматриваются в одной группе или фазе минералов со структурой 2:1. Исследования состава тонких коллоидов почв показывают, что черноземы по содержанию основных фаз и окислов между собой различаются незначительно. Содержание гумуса в тонких коллоидах черноземов равно или несколько превышает его накопление, характерное для горизонта в целом. Содержание каолинита не превышает 8-13%, тогда как преобладающие здесь минералы со структурой 2:1 составляют до 80 % и более от общей массы [7].

Для определения коэффициентов активности миалов и расчета равновесий глинистых минералов в почвах использовались данные по химическим потенциалам независимых компонентов и кристаллохимии минералов. Миалы – это реальные или теоретические конечные члены изоморфных рядов минералов, химические соединения постоянного состава, с помощью которых можно описать химический состав минералов переменного состава. В решении данной задачи продуктивным оказался подход, использованный нами при расчете коэффициентов активности моноионных форм гумусовых кислот [10]. Так, в результате экспериментального изучения равновесий и анализа ионообменных свойств гумусовых кислот было показано, что логарифм коэффициента активности конкретной моноионной формы равен произведению суммы мольных долей моноионной формы и Н-формы гумусовых кислот

на логарифм мольной доли моноионной формы с соответствующими коэффициентами (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Стандартные изобарно-изотермические потенциалы образования и коэффициенты активности миналов

Миналы	Индекс минала	$\Delta G^{\circ}_f$ , Дж/моль	Коэффициент активности, $\gamma_i$
$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$	Ks	-5537189	$X_{Ks}^{8(XKs+XHs)}$ *
$NaAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$	Nas	-5514261	$X_{Nas}^{5(XNas+XHs)}$
$Ca_{0,5}Al_3Si_3O_{10}(OH)_2$	Caf	-5512922	$X_{Caf}^{7(XCaf+XHs)}$
$Mg_{0,5}Fe_2AlSi_3O_{10}(OH)_2$	Mgf	-4568677	$X_{Mgf}^{14(XMgf+XHs)}$
$Mn_{0,5}Al_3Si_3O_{10}(OH)_2$	Mns	-5363888	$X_{Mns}^{XMns+XHs}$
$(H_3O)Al_3Si_3O_{10}(OH)_2$	Hs	-5509491	$X_{Hs}^{8XHs}$
$Ca_3Si_4O_{10}(OH)_2$	Cas	-5808626	$X_{Cas}^{34(XCas+XHs)}$
$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	Mgs	-5492504	$X_{Mgs}^{67(XMgs+XHs)}$
$Fe_2Si_4O_{10}(OH)_2$	Fes	-4338808	1
$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$	Als	-5229414	1

\*  $X_{Ks}, \dots, X_{Mgs}$  – мольные доли миналов в твердом растворе.

В качестве примера рассмотрим результаты расчета равновесного состава тонких коллоидов горизонта А1 выщелоченного чернозема Приобья до и после внесения минеральных удобрений. Исходными данными для расчета служит общий валовой химический состав тонких коллоидов и состав водной вытяжки или почвенного раствора. Тонкие коллоиды чернозема содержат (в % от абсолютно сухого веса)  $SiO_2$  – 40,49;  $Al_2O_3$  – 18,60;  $Fe_2O_3$  – 9,77;  $MnO$  – 0,19;  $MgO$  – 2,52;  $CaO$  – 2,21;  $Na_2O$  – 0,15;  $K_2O$  – 2,44 и гумуса – 8,65 %. В водной вытяжке чернозема содержится (в мг/л) К – 1,9; Na – 1,6; Ca – 16,1; Mg – 1,4;  $SO_4$  – 39,5; Cl – 3,0;  $NO_3$  – 5,0 и рН составляет 7,16. Физико-химическое моделирование проводилось в системе 1 кг тонких коллоидов – 1 л воды – 100 кг воздуха в открытой к атмосфере системе (вариант 1). Исследования трансформации минеральной основы почвы включали подкисление системы добавлением 0,002 моль азотной кислоты (вариант 2) и вариант с внесением 0,002 моль хлористого калия (вариант 3).

Расчеты показывают, что система представлена фазами водного раствора, гумусовых кислот, слоистых минералов 2:1, каолинита, кварца, гидроокиси железа, алюминия и марганца (табл. 2). Основной компонент тонких коллоидов – глинистые минералы 2:1, которые по составу относятся к иллит-монтмориллонитовым алюмосиликатам. По сравнению с другими почвами (кислыми или щелочными) в черноземах эти минералы более насыщены кальцием. Из данных расчета следует, что получение таких результатов аналитическими методами сложно, а для некоторых компонентов, например, гумусовых кислот, представляет трудно-выполнимую задачу.

Добавление (в варианте 2) к системе 0,002 моль азотной кислоты (например, в почвах это происходит при нитрификации) приводит к понижению рН раствора (с 7,15 до 6,91) и оглиниванию системы. Как показывают расчеты оглинивание или увеличение содержания минералов 2:1 в системе происходит вплоть до рН 6,20 и при дальнейшем подкислении их количество начинает снижаться. Более интенсивно оглинивание системы происходит при добавлении калия, которое при более значительном, чем в варианте 3, внесении KCl сопровождается увеличением в минералах также и обменного калия. На ионообменный комплекс гумусовых кислот изменение рН раствора в пределах от 7,15 до 6,91 оказывает слабое влияние, заметное по увеличению обменного водорода и снижению обменного кальция.

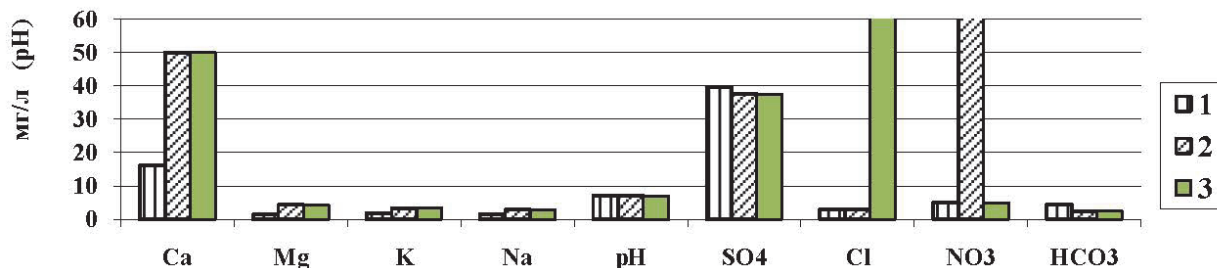
**Заключение.** Определение коэффициентов активности миналов глинистых минералов дает возможность на основе общего химического состава тонких коллоидов рассчитывать их равновесный состав и прогнозировать эволюцию состава в зависимости от изменения внешних условий. Основными компонентами тонких коллоидов черноземов являются слоистые минералы со структурой 2:1 при подчиненном значении каолинита, гумусовых кислот и минеральных фаз постоянного состава. По сравнению с почвами кислого или щелочного рядов минералы 2:1 в черноземах более насыщены кальцием. Физико-химическое моделирование в

системе тонкие коллоиды – раствор – воздух указывает на усиление оглинивания высокодисперсной минеральной основы при подкислении почв. Оглинивание происходит до pH 6,20 и при дальнейшем подкислении происходит разрушение минералов. Присутствие калия приводит к более интенсивному оглиниванию высокодисперсной минеральной основы почв.

Т а б л и ц а 2

**Равновесный состав тонких коллоидов горизонта А1 выщелоченного чернозема при различных внешних условиях**

*Водный раствор*



*Твердые фазы постоянного состава*

Фазы	Варианты	Состав	Число молей	Содержание, г
Каолинит	1*	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	0,4473	115,48
	2		0,3770	97,32
	3		0,3713	95,84
Кварц	1	$SiO_2$	0,0007	0,04
	2		0,0000	0,00
	3		0,0000	0,00
Гидроокись Al	1	$Al(OH)_3$	0,0013	0,10
	2		0,0971	7,58
	3		0,1006	7,85
Гидроокись Fe	1	$Fe(OH)_3$	0,3554	37,99
	2		0,3087	32,99
	3		0,3073	32,84
Гидроокись Mn	1	$Mn(OH)_2$	0,0172	1,53
	2		0,0169	1,50
	3		0,0169	1,50

*Твердые фазы переменного состава*

<p>Черные гуминовые и связанные с ними фульвокислоты</p> <p>1 <math>(H_{0,693}K_{0,002}Na_{0,003}Ca_{0,955}Mg_{0,039}Mn_{0,018}Fe_{0,026}Al_{0,067})C_{20}H_9O_9N</math> 0,212 моль – 95,67 г</p> <p>2 <math>(H_{0,702}K_{0,002}Na_{0,003}Ca_{0,948}Mg_{0,038}Mn_{0,018}Fe_{0,027}Al_{0,068})C_{20}H_9O_9N</math> 0,212 моль – 95,63 г</p> <p>3 <math>(H_{0,703}K_{0,002}Na_{0,003}Ca_{0,948}Mg_{0,038}Mn_{0,018}Fe_{0,027}Al_{0,068})C_{20}H_9O_9N</math> 0,212 моль – 95,63 г</p>
<p>Глинистые минералы 2:1</p> <p>1 <math>(K_{0,312}Na_{0,029}(H_3O)_{0,070}Ca_{0,115}Mg_{0,070})(Mg_{0,304}Mn_{0,007}Fe_{0,518}Al_{1,174})[Si_{3,525}Al_{0,475}O_{10}](OH)_2</math> 1,6603 моль – 655,13 г</p> <p>2 <math>(K_{0,305}Na_{0,028}(H_3O)_{0,072}Ca_{0,113}Mg_{0,070})(Mg_{0,296}Mn_{0,007}Fe_{0,534}Al_{1,166})[Si_{3,528}Al_{0,472}O_{10}](OH)_2</math> 1,6988 моль – 670,53 г</p> <p>3 <math>(K_{0,306}Na_{0,028}(H_3O)_{0,072}Ca_{0,113}Mg_{0,070})(Mg_{0,295}Mn_{0,007}Fe_{0,534}Al_{1,167})[Si_{3,528}Al_{0,472}O_{10}](OH)_2</math> 1,7023 моль – 671,90 г</p>

\* 1 – исходное состояние; 2 – 0,002 моль N ( $HNO_3$ ); 3 – 0,002 моль K (KCl).

**Литература**

1. Градусов Б.П. Глинистые минералы основных типов почв сельскохозяйственных областей СССР (состав, генезис, преобразования): Автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук. М., 1980. 40 с.
2. Добровольский Г.В., Шоба С.А. Растровая электронная микроскопия почв. М.: Изд-во МГУ, 1978. 144 с.
3. Курачев В.М. Минеральная основа почвенного поглощающего комплекса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 227 с.

4. Соколова Т.А. Глинистые минералы в почвах гумидных областей СССР. Новосибирск: Наука, 1985. 250 с.
5. Карпов И.К. Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии. Новосибирск: Наука, 1981. 245 с.
6. Чудненко К.В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2010. 287 с.
7. Шоба В.Н., Карпов И.К. Физико-химическое моделирование в почвоведении. Новосибирск: Изд-во СО РАСХН, 2004. 179 с.
8. Киншт А.В. Минералогический состав двух типов почв с элювиально-иллювиальным профилем // Свойства почв таежной и лесостепной зон Сибири. Новосибирск: Наука, 1978. С. 126–136.
9. Симонов Г.А. Изменение минеральной массы в ряду дерново-подзолистых почв с нарастающей дифференциацией элювиальной толщи: Автореф. дисс... канд. биол. наук. Новосибирск, 1983. 20 с.
10. Шоба В.Н., Чудненко К.В. Физико-химическое моделирование ионного обмена гумусовых кислот с катионами разной валентности // Почвоведение. 2012. № 12. С. 1287–1296.
11. Дорогокупец П.И., Карпов И.К. Термодинамика минералов и минеральных равновесий. Новосибирск: Наука, 1984. 185 с.
12. Robie R.A., Hemingway B.S. Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298.15 K and 1 bar ( $10^5$  Pascals) pressure and at higher temperatures // U. S. Geol. Survey Bull. V. 2131. Washington, 1995. 461 p.
13. Yokokawa H. Tables of thermodynamic properties of inorganic compounds // Journal of the National Chemical Laboratory for Industry, 1988, V. 83, p. 27-121.

#### **PHYSICO-CHEMICAL MODELING OF THE STATE OF THE HIGH-DISPERSED MINERAL BASIS IN CHERNOZEMS**

V.N. Shoba

Siberian Research Institute of Soil Management and Chemicalization of Agriculture, SFRCA of RAS, Krasnoobsk, sibsoil@mail.ru

**Summary.** *The coefficients of activity of minals of clay minerals are determined and the equilibrium composition of fine colloids in chernozems is calculated. It is shown that the main component of thin colloids are layered minerals 2:1 with a subordinate value of humic acids and mineral phases of constant composition. Physico-chemical modeling indicates an increase clay formation at low acidification of the soil or the introduction of potassium chloride.*

**Keywords:** *thin colloids, equilibrium, minals, solutions, clay minerals, humic acids, clay formation.*

## ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА

С.В. Шульгина, Т.Н. Азаренок, Д.В. Матыченков,  
О.В. Матыченкова, Л.И. Шибут, С.В. Дыдышко

РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси, Минск, soil@tut.by

**Аннотация.** В публикации представлены результаты исследований особенностей трансформации свойств автоморфных дерново-подзолистых почв пахотных земель Беларуси песчаного и суглинистого гранулометрического состава, вовлеченных в интенсивное сельскохозяйственное производство.

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая почва, суглинистые породы, песчаные породы, трансформация, антропогенный фактор, агрохимические свойства, плодородие.

**Актуальность.** Почвенные ресурсы как национальное богатство Беларуси характеризуются разнообразным компонентным составом – 443 почвенные разновидности [1]. Определяющими факторами почвообразования в условиях республики являются генезис, строение почвообразующих пород, увлажнение и хозяйственная деятельность человека, оказывающие непосредственное влияние на интенсивность и направление протекания почвообразовательных процессов, связанных с превращением, миграцией и аккумуляцией органических и минеральных соединений в почвенном профиле. Основной фонд пахотных земель страны составляют дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболочиваемые почвы, на долю которых приходится соответственно 47,0 и 40,5% от их общей площади [2]. Установление изменений их свойств в условиях превалирования антропогенного воздействия является одним из способов контроля и получения актуальной информации об их состоянии для поиска оптимальных путей использования и защиты от деградации.

В данной публикации представлены результаты исследований преобразования отдельных свойств автоморфных дерново-подзолистых почв пахотных земель республики песчаного и суглинистого гранулометрического состава.

**Объекты и методы исследования.** Предметом исследования явился массив данных, характеризующих автоморфные (в том числе контактно оглеенные и оглеенные внизу) дерново-подзолистые почвы пахотных земель Беларуси различного гранулометрического состава разных уровней землепользования (республика, административный район) и их естественных (лесных) аналогов Почвенной Информационной Системы Беларуси (ПИСБ), фондовых материалов Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси.

При проведении исследований использованы следующие методы: систематизация данных о состоянии состава и свойств дерново-подзолистых почв пахотных земель и их естественных аналогов, сравнительно-аналитический, рядов антропогенных изменений почв. Аналитические исследования проведены по общепринятым методикам в лаборатории РУП «Институт почвоведения и агрохимии» и секторе агропочвоведения, цифрового картографирования и оценки почв.

**Обсуждение результатов.** Сегодня результаты многочисленных научных публикаций констатируют неоспоримый факт происходящих в почвах изменений не только мобильных свойств (агрохимических, физико-химических, водно-физических), но и ранее считавшихся консервативных характеристик (гранулометрического, минералогического состава) под влиянием многочисленных комбинаций природных и антропогенных факторов. Знание естественных и потенциальных возможностей почв позволяют раскрыть особенности трансформации их свойств.

Анализ фондового материала по лесным почвам и информации по почвам пахотных земель базы данных ПИСБ позволил установить разницу в изменении агрохимических показате-

телей пахотных горизонтов дерново-подзолистых почв песчаного и суглинистого гранулометрического состава относительно исходных величин в гумусово-аккумулятивных горизонтах их естественных аналогов (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Среднестатистические значения отдельных показателей гумусово-аккумулятивных горизонтов дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава естественных и пахотных земель Республики Беларусь**

Вид земель	Содержание гумуса (Hm)		Степень насыщенности основаниями (V)	
	%	±%*	%	±%
<b>Суглинистые</b>				
Естественные	$\frac{2,60 \pm 1,10}{176}$	<b>-12</b>	$\frac{25,70 \pm 10,70}{176}$	<b>+153</b>
Пахотные	$\frac{2,30 \pm 0,40}{224}$		$\frac{64,96 \pm 8,67}{224}$	
<b>Песчаные</b>				
Естественные	$\frac{1,27 \pm 0,89}{208}$	<b>+83</b>	$\frac{21,59 \pm 16,12}{208}$	<b>+224</b>
Пахотные	$\frac{2,32 \pm 0,61}{266}$		$\frac{69,92 \pm 18,23}{197}$	

*Примечание.* \* Величина отклонения показателя от исходного состояния, %.

Согласно данным табл. 1 в пахотных горизонтах исследуемых почв суглинистого гранулометрического состава содержание гумуса в процессе окультуривания изменилось в сторону убывания всего на 12%, в то время как в песчаных разновидностях отклонение его современных значений на пашне от исходных значений в естественных почвах составило +83%, то есть возросло почти в 2 раза. Доля же степени насыщенности основаниями в пахотных горизонтах дерново-подзолистых почв как суглинистого, так и песчаного гранулометрического состава возросла в 2,5 и 3,2 раза соответственно. Это свидетельствует о стабильности агрохимических свойств почв суглинистого гранулометрического состава по отношению к антропогенному воздействию в отличие от их песчаных аналогов.

Результаты среднестатистических расчетов этих же показателей атрибутивной базы данных ПИСБ 3-го уровня обобщения на примере Пуховичского района Минской области (табл. 2) подтверждают, что в наибольшей степени подвержены изменениям свойства почв, развивающихся на породах легкого гранулометрического состава – связнопесчаных: их пахотные горизонты накапливают до 66% гумуса дополнительно к естественному резерву, отклонение степени насыщенности основаниями составляет +486%. Почвы пахотных земель, сформированные на легкосуглинистых породах, теряют до 25% гумуса, степень насыщенности основаниями изменяется на +55%.

Плодородие дерново-подзолистых почв республики также в значительной степени определяется их гранулометрическим составом. В качестве примера в таблице 3 представлены результаты II тура кадастровой оценки пахотных земель отдельных районов Витебской (Дубровенский, Лиозненский, Оршанский) и Гомельской (Калинковичский, Лельчицкий, Светлогорский) областей, в почвенном покрове которых преобладают дерново-подзолистые почвы соответственно суглинистого и песчаного гранулометрического состава [2]. Исходный балл (или балл бонитета исходя из генетических свойств почв – типа, степени увлажнения, гранулометрического состава) пахотных суглинистых разновидностей равен 63,4, а песчаных – 32,5 [3, 4]. Однако за счет факторов, лимитирующих развитие растениеводства (агроклиматических, культуртехнических, мелиоративных), на севере республики (Витебская область) наблюдается весьма существенное снижение балла бонитета. В почвах суглинистого гранулометрического состава фактический балл плодородия изменяется от исходного по шкале почти на 50% в сторону убывания (отклонение  $-47,0 - -54,4\%$ ), в песчаных – на 20% ( $-17,8 - -21,5\%$ ). Естественная производительная способность (без внесения удобрений)

дерново-подзолистых суглинистых почв в среднем выражена величиной 18–20 ц/га зерновых, а песчаных – 8–9 ц/га [5]. В современный период 2015–2017 гг. средняя урожайность зерновых и зернобобовых культур в трех районах Витебской области, где преобладают суглинистые почвы, составила 34,0 ц/га, а в трех районах Гомельской области с наибольшим распространением в составе пахотных земель песчаных почв – 25,8 ц/га [6]. Таким образом, в сравнении с урожайностью 40-летней давности на аналогичных почвах без внесения удобрений производительная способность почв суглинистого гранулометрического состава возросла в 1,4–2,0 раза, а песчаных – в 2,8–3,3 раза.

Таблица 2

**Среднестатистические показатели отдельных показателей гумусово-аккумулятивных горизонтов дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава лесных и пахотных земель Пуховичского района Республики Беларусь**

Гранулометрический состав	Вид земель	Показатель, отклонение (% изменения) от исходного состояния, ±%	
		содержание гумуса, %	степень насыщенности основаниями, %
Легкие суглинки	Лесные	$\frac{2,73 \pm 0,97}{16}$	$\frac{53,2 \pm 15,8}{16}$
	Пахотные	$\frac{2,05 \pm 0,67}{32}$	$\frac{82,3 \pm 10,7}{35}$
	±%	-25	+55
Связные пески	Лесные	$\frac{1,55 \pm 0,79}{44}$	$\frac{12,5 \pm 11,2}{44}$
	Пахотные	$\frac{2,58 \pm 0,94}{67}$	$\frac{73,2 \pm 14,6}{69}$
	±%	+66	+486

Таблица 3

**Плодородие дерново-подзолистых почв Республики Беларусь (на примере отдельных районов)**

Районы	Дерново-подзолистые почвы, %			Балл плодородия			Урожайность зерновых и зернобобовых, ц/га		
	Всего	в т. ч.		исходный по шкале	фактический	% изменения	без удобрений	2015-2017 гг.	% изменения
		суглинистые	песчаные						
Дубровенский	57,1	86,1	0,6	63,4	33,0	-47,9	18–20	36,9	+94,2
Льозненский	33,5	75,4	4,8	63,4	28,9	-54,4	18–20	27,4	+44,2
Оршанский	37,7	74,6	1,1	63,4	33,6	-47,0	18–20	37,7	+98,4
Калинковичский	36,6	0,1	75,9	32,5	26,7	-17,8	8–9	24,2	+184,7
Светлогорский	32,6	0,0	78,4	32,5	25,5	-21,5	8–9	24,9	+192,9
Лельчицкий	32,5	0,0	96,3	32,5	26,3	-19,1	8–9	28,2	+231,8

**Заключение.** Таким образом, в условиях Беларуси интенсивное использование в сельскохозяйственном производстве почв дерново-подзолистого типа находит отражение прежде всего в изменении агрохимических показателей их пахотных горизонтов. Причем особенности трансформации непосредственным образом связаны с гранулометрическим составом почвообразующих пород. Суглинистые разновидности этих почв с высокой буферной способностью характеризуются стабильностью показателей свойств и состава. Дерново-подзолистые почвы песчаного гранулометрического состава являются наиболее «отзывчивыми» по отношению к приемам окультуривания: их пахотные горизонты накапливают до 83% гумуса дополнительно к естественному резерву, величина степени насыщенности основаниями изменяется на +224%, то есть почти в 3 раза, что в целом способствует росту производительной способности в 3 раза и более по сравнению с естественным плодородием. Однако приобретенные показатели свойств в песчаных почвах являются менее стабильными и требуют постоянного применения эффективных научно обоснованных способов для сохранения созданного уровня плодородия.



## Литература

1. Примерный Номенклатурный список почв Республики Беларусь / Г.С. Цытрон [и др.] // Государственный комитет по имуществу РБ, РУП «Институт Почвоведения и агрохимии», РУП «Проектный институт Белгипрозем». Минск, 2013. 64 с.
2. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / Г.И. Кузнецов [и др.]. Минск, 2001. 432 с.
3. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств. Содержание и технология работ / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. Минск, 2011. 137 с.
4. Результаты корректировки кадастровой оценки сельскохозяйственных земель Республики Беларусь, утвержденные приказом Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от 7 декабря 2017 г. № 248. URL: <http://gki.gov.by/uploads/files/Prilozhenie-Rezultaty-otsenki-1.pdf> (дата обращения: 25.07.2018).
5. Кулаковская Т.Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев. Минск, 1978. 272 с.
6. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник. Минск, 2017. 232 с. URL: [http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/index\\_7720/](http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/index_7720/) (дата обращения: 25.07.2018).

### FEATURES OF THE TRANSFORMATION OF SOD-PODZOLIC SOILS OF THE ARABLE LANDS OF BELARUS UNDER THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC FACTOR

S.V. Shul'gina, T.N. Azarenok, D.V. Matychenkov, O.V. Matychenkova, L.I. Shibut, S.V. Dydysenko

The Institute of Soil Science and Agrochemistry, Belarus, Minsk, soil@tut.by

**Summary.** *The article presents the results of studies of the features of transformation of the properties of sod-podzolic soils of arable land of Belarus, formed on rocks of different granulometric composition, which are used in intensive agricultural production.*

**Keywords:** *sod-podzolic soil, loamy soil-forming rocks, sandy soil-forming rocks, transformation, anthropogenic factor, agrochemical properties, fertility.*



**СЕКЦИЯ 2.**  
**ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ:**  
**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ**  
**И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ**



## АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕЛИОРИРОВАННЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ

Т.Н. Авдеева

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, avdeeva\_tn\_2013@list.ru

**Аннотация.** *Изучены основные почвенно-ландшафтные характеристики мелиорированной поймы Быковского расширения р. Москвы в пределах опытного поля овощекормового севооборота; установлены критерии агроэкологической оценки элементарных почвенных структур (ЭПС) по механизмам дифференциации, сложности, контрастности почвенного покрова (ПП), положению в геохимическом ландшафте и агроэкологической контрастности.*

**Ключевые слова:** *аллювиальные почвы, мелиорация, агроэкологическая оценка.*

Мелиорированные аллювиальные почвы представляют собой ценный земельный ресурс Московской области. Для сохранения и рационального использования этих почв необходима разработка современных научно-обоснованных адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) и освоение соответствующих агротехнологий. В настоящее время разработаны основные концептуальные положения АЛСЗ, базирующиеся на агроэкологической классификации земель и всестороннем ландшафтном анализе территории, а также многочисленные типизации природных и антропогенно – преобразованных ландшафтов [1]. При выделении особенностей АЛСЗ для классификации агроландшафтов, общих для хозяйств зоны, региона, области использовались материалы природно-сельскохозяйственного районирования 1980-х годов. На уровне конкретных хозяйств учитываются отличительные черты ландшафтов по всем их компонентам. В поймах гумидной зоны ярко выражена дифференциация агроэкологических условий на уровнях ландшафта – отдельного хозяйства- поля. Факторы, определяющие неоднородность агроэкологических условий, методологически подразделяются на 4 группы: управляемые, регулируемые, ограниченно регулируемые, нерегулируемые [1]. Ограниченно регулируемые и нерегулируемые факторы создают устойчивый неоднородный фон, влияющий на управление легко регулируемыми факторами плодородия, в т. ч. и на обеспеченность почв элементами минерального питания. Оценка влияния управляемых и регулируемых факторов на плодородие почв и продуктивность овощных культур была задачей предыдущих исследований [2, 3].

Цель данной работы – изучение и агроэкологическая оценка роли нерегулируемых (погодные условия, мезорельеф, глубина смены гранулометрического состава почв) и ограниченно регулируемых (неоднородность ПП, структура почвы, водный режим, содержание гумуса) факторов, лимитирующих плодородие мелиорированных аллювиальных почв и продуктивность овощных культур.

**Объекты и методы исследования.** Ключевой участок площадью 2,5 га расположен на опытном поле ВНИИО в Раменском районе Московской области близ г. Жуковский в центральной области левобережья Быковского расширения незаливаемой мелиорированной поймы р. Москвы. Длительный стационарный опыт по оценке влияния систем удобрения на плодородие аллювиальных почв, урожайность и качество культур 5-польного овощекормового севооборота проводится с 1975 г. В исследованиях использовались собственные материалы полевых исследований, а также литературные и фондовые материалы, характеризующие природные условия пойменного агроландшафта. При оценке результатов использованы методы многомерной статистики.

**Результаты исследований.** В соответствии с типизацией агроландшафтов Нечерноземной зоны, разработанной ВНИИМЗ [4], объект нашего исследования относится: к группе «долинных (пойменных)» в подгруппе переувлажненных (осушаемых) земель, по типу – к землям «центральной поймы» длительного сезонного поверхностного и грунтового переувлажнения с плодородными почвами на супесчаном и суглинистом аллювии.

Центральная пойма характеризуется как благоприятными (относительно высокое плодородие почв, маловыраженный микрорельеф, кратковременность затопления), так и неблагоприятными (пестрота ПП, литологическая неоднородность, заболоченность) природными условиями для производства продукции растениеводства. Зарегулированность речного стока и мелиорации изменяют мезо- и микрорельеф, условия увлажнения и свойства почв, способствуя как их улучшению, так и ухудшению.

Климат Московской области – умеренно континентальный, влажный. Сумма положительных температур воздуха составляет 2100–2200°C. Продолжительность периода активной вегетации растений не превышает 138–140 дней. Таким образом, термический режим в среднем соответствует потребностям овощных культур. Количество осадков в среднем достигает 540–600 мм/год и 250–270 мм за вегетационный период. Гидротермический коэффициент – 1,2–1,3. Однако для области характерны и аномальные годы с дефицитом или избытком тепла и влаги. Кластерный анализ погодных условий вегетационных периодов 1975–2000 г.г. показал умеренное сходство (на 50%-ном уровне) только 15 лет наблюдений со среднесезонными значениями по  $t^{\circ}$  воздуха и осадкам. Оптимальный режим влажности корнеобитаемого слоя среднесуглинистых почв (на уровне 80% от ППВ для овощных культур) поддерживается поливами через систему открытых каналов, выполняющих одновременно и роль дренажа. Полное оттаивание суглинистых почв кончается в 3-й декаде апреля. Поэтому большая часть талых вод скатывается по поверхности замерзшей почвы или застаивается в пахотном слое, вызывая вымокание посевов и сезонное поверхностное оглеение из-за слабой дренированности.

Особую роль в анализе территории и дифференциации ландшафтов играет оценка литологических условий. Долина р. Москвы располагается в пределах Москворецко-Окской равнины озерно-ледникового происхождения, являющейся частью центра Русской платформы. Кристаллический фундамент платформы перекрыт мощной толщей осадочных пород и четвертичных отложений. Среди четвертичных преобладают моренные отложения Днепровского оледенения мощностью 5–20 м, перекрытые покровными суглинками небольшой мощности 0,5–5 м. Влияние Московского оледенения проявлялось опосредованно через талые ледниковые воды. Почвообразующими породами являются четвертичные отложения различного генезиса и гранулометрического состава. Почвы центральных областей пойм развиваются на современных относительно однородных суглинистых или слабослоистых аллювиальных наносах.

Формирование почв связано с макро-, мезо- и микрорельефом. Для изучаемой территории характерны равнинные формы макрорельефа, связанные с воздействием геологических, климатических и антропогенных факторов. Под действием геологических факторов образуются неровности, обусловленные деятельностью воды и ветра. Климатические факторы вызывают развитие трещин в результате процессов сжатия, набухания, замерзания и разморозания. Мезорельеф образуется совокупностью средних форм поверхности земли, размещающихся на элементах макрорельефа. В области центральной поймы мезорельеф формируется под действием временных водотоков во время паводков, образуя второстепенно выгнутые (гривы, всхолмления) или вогнутые формы (межгривные ложбины флювиального типа). Механизм их образования на пойме связан с деформациями речных русел. К элементам микрорельефа относятся различные микроповышения и понижения площадью от одного или нескольких до десятков и сотен  $m^2$  с высотной амплитудой, не превышающей десятка см: западинки, блюдца, лунки, бороздки, возвышения, бугорки, валики, свально-развальные борозды. Рельеф на территории опытного поля – полого-гривистый мелкозападинный. В 1964 г. территория Быковского расширения была мелиорирована: разбита на поливные карты системой открытых оросителей, осушена гончарным дренажом, поверхность спланирована. Перед закладкой опыта проводилась повторная планировка, направленная на устранение вымочек на 24% площади опытного поля, с максимальным сохранением естественных уклонов земной поверхности, минимальным перемещением плодородного слоя почвы при срезке и подсыпке, углублением дна оросителей. В результате мелиорации произошла смена намывного типа водного режима промывным.

Были составлены карты микрорельефа и почв (М 1: 10000). ПП опытного поля характеризовался как гомогенный с преобладанием аллювиальных луговых насыщенных суглинистых почв на современном слоистом аллювии. В соответствии с эколого-биологическими особенностями требований растений (по результатам учета урожайности уравнительного посева горохоовсяной смеси и обработки их методом дисперсионного анализа) территория поля была оценена как однородная и пригодная для проведения полевого опыта.

Базовой составляющей ландшафтного анализа территории является агроэкологическая оценка структуры почвенного покрова (СПП), т.е. пространственного размещения почв, связанного с литолого-геоморфологическими условиями [5]. В 2006 г. на ключевом участке выполнена топосъемка по нерегулярной сетке с помощью теодолита, проведена почвенная съемка и составлена детальная почвенная карта М 1: 500. Всего заложено 50 разрезов глубиной от 60 до 150 см. На II поле севооборота 11 разрезов образуют трансекту длиной 105 м, пересекающую поле по диагонали с северо-запада на юго-восток. Трансекта проходит вдоль пологого склона гривы, плавно переходя к склону, а затем к днищу микрозападины диаметром 20 м и глубиной 0,3 м (табл. 1).

Таблица 1

**Агроэкологические условия формирования аллювиальных почв Быковского расширения поймы р. Москва (трансекта через II поле овоще-кормового севооборота)**

Разрез, №№	Индекс почвы по классификации 2004 г.	Форма рельефа	Гумусовый горизонт			Смена пород (утяжеление/облегчение***)	Начало ожелезнения	Уровень почвенно-грунтовых вод см	Начало оглеения	Урожайность уравнительного посева	
			мощность	грансостав**	содержание-гумуса						глубина, см
76	ААл <sub>д</sub> <sup>г,э,уп</sup>	Вершина гривы	45	с.с	3,19	77	49	>110	49	475	
80	ААл <sub>г</sub> <sup>уп</sup>	Микрозападина на вершине гривы	49	с.с	3,60	28	28	>145	28	515	
77	ААл <sub>д</sub> <sup>г</sup>	Вершина гривы	48	с.с	3,29	45	45	>115	45	495	
81	ААл <sub>г</sub> <sup>уп</sup>	Средняя часть юго-западного пологого склона гривы	40	с.с	3,29	40	40	>145	40	465	
78	ААл <sub>г</sub> <sup>э</sup>		37	с.с	3,31	65	25	>110	37	360	
82	ААл <sup>ог,уп</sup>		33	с.с	3,19	33	28	>135	28	350	
79	ААл <sup>ог</sup>		30	с.с	3,60	20	0	>120	20	375	
83	ААл <sup>ог,уп</sup>	Нижняя часть юго-западного пологого склона гривы	34	с.с	3,21	20	0	100	28	350	
100	ААл <sup>ог,уп</sup>		35	с.с	2,68	12	12	>150	12	400	
64	ААл <sup>ог</sup>		30	т.с	2,78	Нет	25	>105	25	350	
65	Аз <sub>с</sub> <sup>г</sup>	Днище микрозападины (вымочка)	14	л.г	Н.о.	14***	0	50	0	Н.о.	

*Примечание.* \*Почвы: ААл<sub>д</sub><sup>г</sup> – агрогумусовая аллювиальная глееватая; ААл<sub>д</sub><sup>г,э,уп</sup> – агрогумусовая аллювиальная глееватая элювирированная агрогеннопереуплоненная; ААл<sub>г</sub><sup>уп</sup> – агрогумусово-глеевая аллювиальная агрогеннопереуплоненная; ААл<sup>ог</sup> – агрогумусово-окисленно-глеевая аллювиальная; Аз<sub>с</sub><sup>г</sup> – агрозем светлый глееватый; ААл<sup>ог,уп</sup> – агрогумусово-окисленно-глеевая аллювиальная агрогеннопереуплоненная; \*\* с.с – средний суглинок; т.с – тяжелый суглинок; л.г – легкая глина. Н.о. – не определяли.

На типовом уровне почвенный покров представлен ареалами: (1) – агрогумусовых аллювиальных почв, (2) – агрогумусово-глеевых аллювиальных почв, (3) – агроземов светлых. Среди почв 1-го типа выделяются подтипы глееватых агрогеннопереуплоненных, глееватых элювирированных агрогеннопереуплоненных. Ко 2-ому типу относятся подтипы типичных, окислено-глеевых, агрогеннопереуплоненных агрогумусово-глеевых аллювиальных почв. Ареалы почв 3-его типа представлены агроземами светлыми глееватыми. СПП ключевого участка представлена почвенными комбинациями нескольких видов элементарных почвенных структур, отличающимися по соотношению компонентов пятнистостей: ААл<sup>ог</sup> (53-60%), ААл<sub>г</sub> (14-30%), Аз<sub>с</sub><sup>г</sup> (0-10%). Большая доля агрогумусовых окислено-глеевых аллювиальных

почв в СПП является следствием изменения гидрологического режима мелиорированной поймы. Использование тяжелой обрабатывающей техники и дегумусация почв способствуют широкому распространению процессов переуплотнения.

Все почвы ключевого участка относятся к роду насыщенных. Они весьма разнообразны по видовой принадлежности. Преобладают поверхностно оглеенные среднепахотные маломощные средне гумусированные почвы. В нижней части пологого склона гривы и в днище микрозападины формируются профилльно оглеенные мелкопахотные мелкие мало гумусированные почвы. По гранулометрическому составу верхнего гумусового горизонта преобладают среднесуглинистые почвы за исключением тяжелосуглинистых и легкосуглинистых почв микрозападины. Уровень почвенно-грунтовых вод на II поле севооборота изменяется в пределах 1-2 м, а в микрозападине поднимается до 0,5 м.

Методом построения дендрограмм сходства для пространственно распределенных данных с неограниченным числом показателей [6] выявлены границы однородных почвенно-агрохимических контуров (ПАК) по совокупности регулируемых факторов (рН, содержание гумуса, обменных оснований, доступных Р и К). На территории всего ключевого участка выделено 7 таких контуров, из них 2 – в пределах II-го поля (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

**Статистические характеристики однородных контуров плодородия почв, выделенных на II поле овощекормового севооборота по показателям свойств почв пахотного и подпахотного слоев (уровень сходства внутри контуров более 53%)**

Статистические характеристики	Показатели плодородия почв							Коэффициент контрастности
	Гумус	рН <sub>сол</sub>	Поглощенные основания		К <sub>2</sub> О по Масловой	Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> по Чиркову	Продуктивность культур за 1-ую ротацию севооборота	
			Са <sup>2+</sup>	Mg <sub>2+</sub>				
			мг-экв/кг почвы					
%							%	
Контур 3 (разрезы №№ 76-83). Слой 0-20 см								
Минимум	3,29	6,67	238	54	144	190	443	17,2
Медиана	3,56	6,73	256	56	156	204	501	
Максимум	3,92	6,77	284	68	205	212	535	
Контур 3 (разрезы №№ 76-83). Слой 20-40 см								
Минимум	2,17	6,51	256	50	90	162	443	17,2
Медиана	2,81	6,61	265	58	108	188	501	
Максимум	3,60	6,72	290	68	132	220	535	
Контур 5 (разрезы №№ 100, 64). Слой 0-20 см								
Минимум	2,65	6,65	200	44	101	216	385	31,4
Медиана	3,41	6,86	246	66	140	328	511	
Максимум	3,69	6,99	318	98	236	378	561	
Контур 5 (разрезы №№ 100, 64). Слой 20-40 см								
Минимум	2,15	6,57	192	38	90	136	385	31,4
Медиана	2,96	6,80	230	52	116	210	511	
Максимум	3,73	6,96	300	88	152	330	561	

Основной фактор почвенно-агрохимической неоднородности опытного участка – содержание подвижного фосфора [3]. Оценка влияния выделенных ПАК и нерегулируемых факторов (подтип почвы и положение в рельефе) на продуктивность культур проводилась методом многофакторного дисперсионного анализа. Продуктивность рассматривалась как интегральный агроэкологический показатель. Показано, что значимость оцениваемых факторов по доле их влияния на продуктивность убывает в ряду: ПАК для слоя 0-40 см (50%) → ПАК для слоя 0-20 см (29%) → рельеф (13%) → подтип почвы (9%). Статистически достоверным (вероятность Р<sub>0,95</sub>) оказалось влияние взаимодействия рельефа и ПАК для слоя 0-40 см (доля влияния 32%). Контур №3, приуроченный к повышенным элементам микрорельефа, характеризуется слабой контрастностью, а контур №5, выделенный в понижении микрорельефа, – средней контрастностью.



**Заключение.** Ландшафтный анализ территории мелиорированной поймы р. Москвы в пределах опытного поля овощекормового севооборота выявил, что основным фактором, лимитирующим плодородие аллювиальных почв и продуктивность овощных культур и их агроэкологическую контрастность, является микрорельеф. В соответствии с особенностями агромикрорландшафтов выделено 3 агроэкологических группы земель: эллювиально-аккумулятивный микроповышений, транзитно-аккумулятивный периферии микропонижений; аккумулятивный центра микропонижений.

### Литература

1. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / под ред. В.И.Кирюшина, А.Л.Иванова. М.: Росинформагротех, 2005. 784 с.
2. Кораблева Л.И., Слуцкая Л.Д., Авдеева Т.Н. Охрана и воспроизводство плодородия аллювиальных почв (на примере земледелия в поймах Московской области). М.: ГОСНИТИ, 1989. 58 с.
3. Авдеева Т.Н. Комплексная оценка состояния пойменной агроэкосистемы на основе современных методов обработки информации // Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 2006. № 58. С. 70–75.
4. Мелиорация и рациональное использование переувлажненных минеральных земель Нечерноземья России и Беларуси: монография. Рязань: ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2009. 499 с.
5. Сорокина Н.П. Крупномасштабная картография почв в связи с агроэкологической типизацией земель // Почвоведение. 1993. № 9. С. 37–46.
6. Фрид А.С. Пространственное варьирование и временная динамика плодородия почв в длительных полевых опытах. М.: РАСХН, Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2002. 80 с.

### AGROECOLOGICAL ASPECTS OF INVESTIGATIONS OF MELIORATED ALLUVIAL SOILS T.N. Avdeeva

V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Russia, Moscow, avdeeva\_tn\_2013@list.ru

**Summary.** *The main soil-landscape characteristics of the meliorate floodplain of the Bykovsky extension of the river Moscow within the experimental field of vegetable-fodder crop rotation were studied; the criteria for agroecological assessment of elementary soil structures (ESS) according to the mechanisms of differentiation, complexity, contrast of the soil cover, position in the geochemical landscape and agroecological contrast are established.*

**Keywords:** *alluvial soils, melioration, agroecological assessment.*

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРОФИЛЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ НА ФЛЮВИОГЛЯЦИАЛЬНЫХ ПЕСКАХ

А.А. Акатова, М.А. Ефремова

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, akatova1993@bk.ru;  
marina\_efremova@mail.ru

**Аннотация.** Изучалось распределение тяжелых металлов по почвенному профилю дерново-подзолистой почвы на флювиогляциальных песках. Оно зависело от физико-химических свойств элементов, почвы, а также от типа растительного сообщества, под которым почва была сформирована. В лесных почвах наблюдается элювиально-иллювиальный тип распределения Ni и Cu, под травянистыми сообществами – аккумулятивно-элювиально-иллювиальный. Распределение Cd в залежной почве носит аккумулятивный характер, в лесных почвах элемент достаточно равномерно распределен в почвенном профиле.

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая почва, флювиогляциальные пески, кадмий, медь, никель.

Загрязнение почв тяжелыми металлами – одна из самых насущных проблем современной экологии. Последствия загрязнения сказываются на всех компонентах биосферы, но прежде всего на почве и растениях. Передвигаясь по трофическим цепям и накапливаясь в организме животных и человека, тяжелые металлы вызывают ряд тяжелых заболеваний [1].

Поведение тяжелых металлов в почве определяется физико-химическими свойствами элемента и почвы, климатическими особенностями региона [2]. С целью изучить распределение Ni, Cu, Cd по профилю дерново-подзолистых почв слабоволнистой равнины Лужского района Ленинградской области были сделаны разрезы в лесу и на многолетней залежи.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследований явились дерново-подзолистые почвы, сформированные на флювиогляциальных песках. Было сделано три почвенных разреза вблизи деревни Баньково Лужского района Ленинградской области. Из каждого горизонта почвы были взяты почвенные пробы для определения её физико-химических свойств.

В почвенных образцах измерено содержание органического вещества по методу Тюрина, обменная кислотность – по ГОСТ 26484-85. Валовое содержание Ni, Cu, Cd было определено на атомно-абсорбционном спектрометре фирмы SHIMADZU марки AA-7000 методом электротермической атомизации. При этом для определения валового содержания исследуемые элементы были выделены из почвы 5 М HNO<sub>3</sub> при кипячении в течение трех часов.

**Обсуждение результатов.** Почвенные разрезы были выполнены на многолетней залежи, более двух десятков лет назад находившейся в сельскохозяйственном использовании (разрез № 1) и в лесу (разрезы № 2, 3). Несмотря на территориальные различия, профиль всех почв характеризовался рядом общих черт, позволяющих отнести их к дерново-слабоподзолистым песчаным иллювиально-железистым почвам на флювиогляциальных песках. В профиле почв не удалось выделить подзолистый горизонт, для всех почв присущи признаки содержания трехвалентного железа в иллювиальном горизонте.

В элювиально-гумусовом горизонте лесных почв было отмечено очень низкое содержание органического вещества, в почве залежи – низкое (табл.). Содержание органического вещества снижалось вниз по профилю, наиболее резкие колебания отмечены для залежной почвы.

Анализ обменной кислотности горизонта A<sub>1</sub> лесных почв показал сильноокислую и очень сильноокислую реакцию среды (разрезы № 2 и 3 соответственно), почва залежи, расположенная под травянистым сообществом (разрез № 1), характеризовалась слабокислой реакцией среды. Верхний гумусовый горизонт всех исследуемых почв имел наиболее кислую реакцию по сравнению с более глубокими слоями почвенного профиля.

Тяжелые металлы Ni, Cu, Cd сильно отличаются по своим физико-химическим свойствам, что объясняет их различное распределение по почвенному профилю исследуемых почв. Во

всех исследуемых объектах никель содержался в наибольшей концентрации в почвообразующей породе – от 7,22 до 9,79 мг/кг, что в 4 раза больше его содержания в гумусовом горизонте. Его валовое содержание в иллювиальном горизонте составляло от 4,05 до 6,26 мг/кг, что в 2 раза больше по отношению к гумусовому горизонту. По-видимому, этот химический элемент оказался в верхней части профиля почв благодаря деятельности корневой системы растений. При этом металл не накапливался в гумусовом горизонте, так как легко вымывался в условиях промывного водного режима. Известно, что миграционная способность никеля возрастает под действием кислой реакции среды [3]. Ni мигрирует вниз по профилю в форме водорастворимых органо-минеральных комплексов подобно железу. Близость физико-химических свойств атомов железа и никеля, двух сидерофильных элементов, является доказанной [4].

**Валовое содержание Ni, Cu, Cd в дерново-слабоподзолистой песчаной иллювиально-железистой почве на флювиогляциальных песках**

Горизонт	Мощность, см	C, %	pH <sub>кел</sub>	Ni, мг/кг	Cu, мг/кг	Cd, мг/кг
Разрез № 1						
A <sub>1</sub>	2 – 29	1,89 ± 0,30	5,08 ± 0,01	1,90±0,57	14,31±4,29	0,17±0,05
B	29 – 49	0,26 ± 0,03	5,58 ± 0,02	4,05 ± 1,37	3,52 ± 0,18	0,09±0,03
BC	49 – 91	0,22 ± 0,04	5,33± 0,02	2,17±0,02	8,22±2,47	0,13±0,02
C	> 91	0,12± 0,03	5,02 ± 0,00	8,49±0,66	11,12±0,52	0,10±0,03
Разрез № 2						
A <sub>1</sub>	1 – 36	0,47 ± 0,02	4,39 ± 0,02	1,78 ± 0,30	6,38±0,34	0,03±0,00
B <sub>fe</sub>	36– 70	0,38 ± 0,02	4,59± 0,00	4,46 ± 0,34	8,12±0,99	0,07±0,01
BC	70 – 103	0,24 ± 0,02	4,87± 0,01	2,40 ± 0,35	7,14±0,79	0,03±0,00
C	103 – 129	0,12 ± 0,02	4,75 ± 0,01	7,22 ± 2,17	14,34±0,20	0,03±0,00
Разрез № 3						
A <sub>1</sub>	2 – 19	0,74 ± 0,06	3,63 ± 0,02	2,30± 0,69	10,64±0,31	0,04±0,01
B <sub>fe</sub>	19 – 62	0,41 ± 0,02	4,24± 0,00	6,26 ± 1,88	11,60±0,37	0,04±0,01
BC	62 – 68	0,36 ± 0,08	4,35± 0,00	3,59± 0,57	7,97±0,81	0,05±0,01
C	68 – 77	0,36 ± 0,00	3,64± 0,00	9,79± 0,62	22,37±1,48	0,06±0,01

Под влиянием подзолообразовательного процесса медь в генетических горизонтах профиля лесных почв распределялась по элювиальному-иллювиальному типу также как и никель, что хорошо видно из полученных результатов. Показано, что этот химический элемент активно взаимодействует с молекулами органического вещества с образованием труднорастворимых комплексных соединений [5], однако в лесных почвах исследуемых нами объектов содержание органического вещества в гумусовом горизонте сравнимо с его содержанием в нижележащих горизонтах, что, вероятно, не позволило меди активно накапливаться в поверхностном слое этих почв. Вымыванию меди способствовала также сильноокислая реакция почвенной среды. В почве залежи медь аккумулировалась в гумусовом горизонте (разрез № 1), чему способствовало относительно высокое содержание органического вещества. Оно в 7–16 раз выше, чем в нижних горизонтах. Накопление меди в этом горизонте может явиться результатом использования данной почвы в прошлом в качестве пашни, что предполагает внесение минеральных удобрений и извести, содержащих медь в составе примесных элементов. Следует отметить, что содержание меди в дерново-слабоподзолистой песчаной почве залежи значительно ниже допустимых пределов, установленных санитарно-гигиеническим нормированием (ОДК=33 мг/кг). Концентрация C<sub>ув</sub> почвообразующей породе колебалась в пределах двух раз.

Известно, что кадмий склонен концентрироваться в поверхностных горизонтах почв и ассоциироваться с органическим веществом почвы [4]. В наших исследованиях подтверждение этому факту получено на дерново-подзолистой почве залежи, где кадмий распределялся в почвенном профиле по аккумулятивному типу. В лесных почвах распределение кадмия по генетическим горизонтам – достаточно равномерное, что, возможно, связано с низкой гуму-

сированностью почвы, легким гранулометрическим составом и высокой кислотностью почвенной среды. Перечисленные факторы не позволили кадмию закрепляться в том, или ином горизонте, и наоборот способствовали постоянной миграции легкоподвижного элемента в рамках конвективного переноса влаги в составе растворимых органических соединений с фульвокислотами, а также в форме двухвалентного иона.

**Заключение.** Распределение тяжелых металлов по почвенному профилю дерново-подзолистой песчаной иллювиально-железистой почве на флювиогляциальных песках определяется физико-химическими свойствами элементов, почвы, а также типом растительного сообщества, под которым почва была сформирована. В лесных почвах наблюдается элювиально-иллювиальный тип распределения Ni и Cu, под травянистыми сообществами – аккумулятивно-элювиально-иллювиальный. Распределение Cd в залежной почве носит аккумулятивный характер, в лесных почвах элемент достаточно равномерно распределен в почвенном профиле.

### Литература

1. Kovalcky V.V. Biogeochemical regulation. Local biogeochemical dynamics in the biosphere // Biogeochemistry and geochemical ecology. Moscow, 2001. P. 13–29. (Ecology and the biogeochemical study of taxons of the biosphere).
2. Водяницкий Ю.Н. Свойства тяжёлых металлов в почвах // Агрехимия. 2009. № 8. С. 85–94.
3. Овчаренко М.М. Тяжёлые металлы в системе почва-растение-удобрение. М.: Пролетарский светоч, 1997. 290 с.
4. Водяницкий Ю.Н., Горячкин С.В., Савичев А.Т. Распределение редкоземельных (Y, La, Ce) и других тяжелых металлов в профиле почв подзолистого ряда // Почвоведение. 2011. № 5. С. 546–555.
5. Водяницкий Ю.Н., Ладонин Д.В., Савичев А.Т. Загрязнение почв тяжелыми металлами. М., 2012. 304 с.

### DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN THE PROFILE OF SOD-PODZOLIC SOILS ON FLUVIOGLACIAL SANDS

A.A. Akatova, M.A. Efremova

Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, akatova1993@bk.ru

**Summary.** *The distribution of heavy metals along the soil profile of sod-podzolic soil on fluvioglacial sands was studied. It depended on the physicochemical properties of the elements, soil, and also the type of plant community under which the soil was formed. In forest soils there is an eluvial-illuvial type of distribution of Ni and Cu, under the grassy communities – accumulative-eluvial-illuvial. The distribution of Cd in fallow soil is accumulative, in forest soils the element is fairly evenly distributed in the soil profile.*

**Keywords:** *sod-podzolic soil, fluvio-glacial sands, cadmium, copper, nickel*

## УСТОЙЧИВОСТЬ МИКРОБОЦЕНОЗА ЧЕРНОЗЕМА К ЗАГРЯЗНЕНИЮ АНТИБИОТИКАМИ

Ю.В. Акименко, О.В. Чувараева, Е.В. Гончарова

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, akimenkojuliya@mail.ru

**Аннотация.** В лабораторных модельных исследованиях рассмотрена устойчивость микробоценоза чернозема к загрязнению антибиотиками. В результате исследований установлено негативное воздействие загрязнения антибиотиками. Степень влияния антибиотиков определяется их природой и сроками воздействия. Бактерицидные антибиотики оказывают наибольшее подавляющее воздействие на исследуемые показатели, чем бактериостатические. По степени ингибирования микробиологических показателей антибиотики образуют следующий ряд: ампициллин  $\geq$  стрептомицин > тилозин > тромексин > ализерил.

**Ключевые слова:** загрязнение, антибиотики, чернозем обыкновенный.

На сегодняшний день достаточно хорошо изучено изменение биологических свойств разных типов почв России при загрязнении тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами [1, 2] пестицидами [3, 4]. Однако, в отличие от тех же пестицидов, которые уже давно используются в сельском хозяйстве, антибиотики, не вызывали интереса как потенциальные загрязнители окружающей среды.

В последнее время научный интерес сосредоточился с одной стороны на изучении путей поступления, распространения и поведения антибиотиков в окружающей среде, с другой стороны на влиянии, которое они оказывают на другие организмы. Установлена резистентность к антибиотикам микроорганизмов сточных и поверхностных вод [5, 6], почвы [7].

Основными источниками поступления антибиотиков в окружающую среду является фармацевтическая продукция, ветеринария и медицина человека. В настоящее время во многих странах в животноводстве и растениеводстве применяют большое количество антибиотиков, как для стимулирования роста животных, так и в профилактических целях. Использованные антибиотики передвигаются по пищевым цепочкам, накапливаясь в растениях, в частности овощах и фруктах [7].

В почву антибиотики попадают благодаря применению навоза и сточных вод на сельскохозяйственных землях в качестве удобрения [8]. Локально в почвах обнаруживаются антибиотики группы тетрациклинов от следовых количеств до 900 мг/кг, группы макролидов до 800 мг/кг [9].

По прогнозу экспертов ВТО, в России использование антибиотиков будет ежегодно расти примерно на 35 – 40%. В большинстве Европейских стран запрещено использовать антибиотики в качестве кормовых добавок и в профилактических целях. В России же отсутствуют нормативные документы о содержании и определении антибиотиков в объектах окружающей среды, кормовые антибиотики не запрещены.

Таким образом, представляется перспективным осуществление диагностики, мониторинга и нормирования воздействия на почву антибиотиков по степени нарушения экологических и сельскохозяйственных функций, выполняемых почвой в природных экосистемах и агроэкосистемах.

Цель исследования – оценка устойчивости микробоценоза чернозема обыкновенного к загрязнению антибиотиками.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследований являлся микробоценоз черноземом обыкновенный южно-европейской фации карбонатный мощный слабогумусированный тяжелосуглинистый на желто-бурых лессовидных суглинках. Черноземы обыкновенные (Voronich Chernozemes Pachic), занимают обширные равнины Азово-Кубанской низменности в пределах Краснодарского края и южной части Ростовской области, по новой классификации – черноземы миграционно-сегрегационные [10].

Для решения поставленных в исследовании задач нами была заложена серия модельных лабораторных опытов. Изучали воздействие медицинских антибиотиков – ампициллина, стрептомицина и ветеринарных антибиотиков – тилозина, тремексина, ализерила в концентрации 500 мг/кг на биологические свойства чернозема обыкновенного. Данная концентрация была выбрана по литературным данным, согласно остаточным количествам антибиотиков, обнаруживаемым в окружающей среде [11] и благодаря результатам ранее проведенных рекогносцировочных исследований [12, 13]. Антибиотики вносили в почву в виде растворов. Исследования проводили на 3, 30 и 90 сутки после загрязнения. Все образцы почв инкубировали в темном месте при температуре 20–25°C и оптимальном увлажнении (60% от полевой влагоемкости). Контролем служила почва, не загрязненная антибиотиками.

Комплексное исследование микробиологических свойств чернозема обыкновенного включало определение численности жизнеспособных микроорганизмов различных эколого-трофических групп методом посева соответствующих разведений (2;3;5) на твердые питательные среды: на мясо-пептоном агаре (МПА) определяли количество аммонифицирующих бактерий, на крахмало-аммиачном агаре (КАА) – амилалитических бактерий, на среде Чапека – обилие микромицетов. Методом комочков обрастания на среде Эшби определяли обилие бактерий *p. Azotobacter* [14].

Статистическая обработка результатов исследования проведена с использованием статистического пакета Statistica 10.0 и программы Excel.

**Обсуждение результатов.** Анализ результатов исследования показал, что загрязнение чернозема антибиотиками оказывает ингибирующее воздействие на жизнедеятельность аммонифицирующих бактерий, подобные результаты были получены и в других исследованиях [15]. Ампициллин, стрептомицин и тилозин приводят к снижению количества бактерий-аммонификаторов более чем на 40% от контроля. Наибольший ингибирующий эффект воздействия оказывает ампициллин (снижение на 50-60 % от контроля,  $p < 0,001$ ), в первые сроки от момента загрязнения (3 суток). На дальнейших сроках исследования (30, 90 суток) прослеживается незначительная тенденция к восстановлению численности бактерий-аммонификаторов, но и на 90 сутки после загрязнения восстановления до контрольных значений не происходит, разница в численности бактерий по сравнению с контролем составляет 20-30%, для ампициллина, стрептомицина, тилозина. В образцах, загрязненных тремексином и ализерилем, достоверной разницы в количестве бактерий-аммонификаторов на 90 сутки не установлено.

При загрязнении чернозема антибиотиками наблюдается достоверное снижение количества амилалитических бактерий в первые сроки от момента загрязнения (3 суток). Наибольшее ингибирующее воздействие на обилие амилалитических бактерий оказывает ампициллин и стрептомицин (снижение на 50–60% и 40–50%, соответственно,  $p < 0,001$ ). Загрязнение почвы тремексином и ализерилем не вызывает достоверных изменений обилия амилалитических бактерий на 30 и 90 сутки от момента загрязнения. В первый срок исследований (3 суток) при загрязнении данными антибиотиками количество амилалитических бактерий снижается на 10-15% по сравнению с контролем. В других исследованиях установлено, что сульфонамидные антибиотики, тетрациклин, триметоприм [16] в концентрациях 300–500 мг/кг оказывают значительное ингибирующее воздействие на численность амилалитических бактерий. На последующих сроках исследований (30, 90 суток) наблюдается восстановление численности амилалитических бактерий, особенно в образцах почв, загрязненных тремексином и ализерилем.

Как и ожидалось, антибактериальные антибиотики, не вызвали статистически достоверного снижения обилия микромицетов. В образцах почв, загрязненных ампициллином, стрептомицином и тилозином на 3 и 90 сутки от момента загрязнения, обилие микромицетов превышает контроль на 10–20% ( $p < 0,05$ ).

Бактерии *p. Azotobacter* оказались наиболее устойчивыми к загрязнению антибиотиками. Изменение обилия бактерий наблюдали лишь на 3 сутки после загрязнения антибиотиками (снижение на 20% от контроля при загрязнении ампициллином, на 40% при загрязнении

стрептомицином, на 18% при загрязнении тилозином. Тромексин и алисерил не оказывают достоверного подавляющего воздействия на обилие бактерий на протяжении всех сроков исследований. При этом, в исследованиях других авторов, бактерии *p. Azotobacter* были чувствительнее к разным видам загрязнений, например, нефтью и нефтепродуктами, тяжелыми металлами, ионизирующему излучению, чем другие группы почвенных микроорганизмов [1, 17].

#### **Выводы.**

1. Установлено негативное воздействие загрязнения чернозема обыкновенного антибиотиками на микробоценоз.

2. Степень влияния антибиотиков определяется их природой и сроками воздействия. Бактерицидные антибиотики оказывают наибольшее подавляющее воздействие на исследуемые показатели, чем бактериостатические. По степени ингибирования микробиологических показателей чернозема антибиотики образуют следующий ряд: ампициллин  $\geq$  стрептомицин  $>$  тилозин  $>$  тромексин  $>$  алисерил.

3. Наиболее информативным из исследованных биологических показателей при загрязнении антибиотиками является численность аммонифицирующих бактерий. Показатель обилия бактерий *p. Azotobacter* при загрязнении антибиотиками неинформативен.

4. Максимальное воздействие антибиотиков проявляется в первые сроки после загрязнения чернозема (3 суток). На последующих сроках (30, 90 суток) наблюдается тенденция восстановления микробиологических показателей. Однако, полного восстановления (до контрольных значений) не наблюдается и на 90 сутки после загрязнения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-34-00388, РНФ в рамках научного проекта № 18-76-00010 и гранта Президента Российской Федерации (МК-326.2017.11).*

#### **Литература**

1. Kolesnikov S.I., Kuzina A.A., Kazeev K.Sh., Evstegneeva N.A., Akimenko Yu.V. Assessment of resistance of brown forest sour soils of the black sea coast of the Caucasus to the chemical pollution // *Ecology, Environment and Conservation* 2016. Vol. 22 (3), pp. 519–523.

2. Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Tatlok D.R., Akimenko Yu.V. Biological Condition of the Brown Forest Soils of the Western Caucasus at Pollution by Cadmium, Zinc, Molybdenum and Selenium // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016. Vol. 7(5), pp. 684–689. ISSN: 0975-8585.

3. Казеев К.Ш., Лосева Е.С., Боровикова Л.Г., Колесников С.И. Влияние загрязнения современными пестицидами на биологическую активность чернозема обыкновенного // *Агрохимия*. 2010. № 11. С. 39–44.

4. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Изменение биохимических свойств чернозема обыкновенного при загрязнении биоцидами // *Агрохимия*. 2015. № 3. С. 81–87.

5. Joy S.R. et al. Fate and transport of antimicrobials and antimicrobial resistance genes in soil and runoff following land application of swine manure slurry. *Environ. Sci. Technol.* 2013. 47, 12081–12088.

6. Heuer H. et al. Antibiotic resistance gene spread due to manure application on agricultural fields. *Curr. Opin. Microbiol.* 2011. 14, 236–243/

7. Radjenovic' J., Petrovic' M., Barceló D., 2009. Fate and distribution of pharmaceuticals in wastewater and sewage sludge of the conventional activated sludge (CAS) and advanced membrane bioreactor (MBR) treatment. *Water Res.* 43, 831–841.

8. Kemper N. Veterinary antibiotics in the aquatic and terrestrial environment: a review. *Ecological Indicators*. 2008. № 8. P. 1–13.

9. Yang J-F, Ying G-G, Zhao J-L, Tao R, Su H-C, Liu Y-S. Spatial and seasonal distribution of selected antibiotics in surface waters of the Pearl Rivers, China. *Environ. Sci. Health*. 2011. V. 46. P. 272.

10. Классификация и диагностика почв России / сост.: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с. URL: <http://istina.msu.ru/workers/390074/>

11. Sarmah A.K. et al. A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment // *Chemosphere*. 2006. 65, 725–759.

12. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Мазанко М.С. Экологические последствия загрязнения почв антибиотиками // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15, № 3. С. 1196.

13. Акименко Ю.В. Влияние фармацевтических антибиотиков на динамику численности почвенных микроорганизмов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2014. № 5 (183). С. 63–68.

14. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем / отв. ред. К.Ш. Казеев. Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального университета, 2016. 356 с.

15. Kong W.D., Zhu Y.G., Fu B.J., Marschner P., He J.Z., 2006. The veterinary antibiotic oxytetracycline and Cu influence functional diversity of the soil microbial community. Environ. Pollut. 143, 129–137.

16. Wunder D.B., Tan D.T., LaPara T.M., Hozalski R.M. The effects of antibiotic cocktails at environmentally relevant concentrations on the community composition and acetate biodegradation kinetics of bacterial biofilms // Chemosphere. 2013. № 90. P. 2261–2266.

17. Denisova T.V., Kolesnikov S.I., Mazanko M.S., Minnikova T.V. Akimenko Yu.V. Influence of electromagnetic fields of different frequencies on microbiological properties and enzyme activity of ordinary chernozem combined with chemical pollution / 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015, www.sgem.org, SGEM2015 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-37-7 / ISSN 1314-2704, June 18-24, 2015, Book 3 Vol. 2. P. 183–190.

## RESISTANCE OF THE MICROBIOCENOSIS OF THE CHERNOZEM TO POLLUTION BY ANTIBIOTICS

Yu.V. Akimenko, O.V. Chuvaraeva

Southern Federal University, Rostov-on-Don, akimenkojuliya@mail.ru

**Summary.** *In laboratory model researches resistance of a microbiocenosis of the chernozem to pollution is considered by antibiotics. As a result of researches the negative impact of pollution is established by antibiotics. Extent of influence of antibiotics is defined by their nature and terms of influence. Bactericidal antibiotics make the greatest overwhelming impact on the studied indicators, than bacteriostatic. On degree of inhibition of microbiological indicators antibiotics form the following row: ampicillin  $\geq$  streptomycin > tylosin > tromoxin > alizeryl.*

**Keywords:** *pollution, antibiotics, chernozem ordinary.*



## СОСТОЯНИЕ ПОЧВ ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

О.А. Анциферова

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, anciferova@inbox.ru

**Аннотация.** *Изучен почвенный покров выработанного торфоместорождения. Осушение открытыми каналами препятствует развитию болотного процесса и приводит к минерализации остаточного торфяного слоя верхового типа. Быстрое снижение грунтовых вод в весенний период создает пожароопасную ситуацию.*

**Ключевые слова:** *выработанное торфоместорождение, болотная верховая почва, болотная низинная почва, грунтовые воды.*

Площадь торфяников Калининградской области около 84 тыс. га (примерно 6% территории региона). Верховые болота составляют 32,5% общей площади болот, низинные 64%, переходные 3,5%. Разрабатываемые под торфодобычу осушенные торфяники занимают свыше 7 тыс. га [1, с. 58].

Выработанные и заброшенные торфяные месторождения осушаются сетью открытых каналов, что приводит к минерализации остаточной торфяной залежи, периодическим пожарам и выбросам парниковых газов. Данные объекты не исследованы в регионе. Поэтому актуальность работ состоит в изучении почв и биоценозов для цели разработки мероприятий по восстановлению торфяников по технологиям обводнения.

**Объекты и методы исследования.** Исследования проведены в 2018 г. на торфоместорождении «Виттгирренское» в Славском городском округе Калининградской области. Общая площадь около 112 га. По данным на середину XX торфяная залежь являлась верховой (*fuscum*-торф) и средняя глубина составляла 3 м, максимальная 4,1 м [2, с. 24]. Промышленная торфодобыча в советское время осуществлялась фрезерным способом и прекращена в конце XX в.

Почвенное обследование проведено буровым методом до минерального дна с послойным отбором образцов. Полевая влажность определена термостатно-весовым методом, плотность сложения – методом режущих колец, рН водной и солевой вытяжек потенциометрически, зольность по ГОСТ 11306-83.

**Обсуждение результатов.** Территория ключевого участка расположена в пределах болотного района озерно-ледниковых равнин [1, с. 59]. Подстилающие породы представлены карбонатными озерно-ледниковыми глинами, перекрытыми иловато-пылеватými суглинками небольшой мощности (0,2 – 0,4 м), местами с тонкими песчаными прослойками.

На окраинах торфяного массива распространены болотные низинные перегнойно-глеевые почвы под ивовыми сообществами с тростником. Мощность перегнойного горизонта 30 см, реакция среды от близкой к нейтральной (рН<sub>Н2О</sub> 6,7) до нейтральной. Глеевый горизонт является карбонатным, имеет щелочную реакцию среды (7,8). Карбонаты встречаются в форме сплошной пропитки породы и известняковых камней с эродированной поверхностью. Верхний слой подстилающей породы (около 20–40 см) может быть выщелочен от карбонатов, и иметь рН<sub>Н2О</sub> около 7.

Следующая зона представлена болотными низинными почвами двух вариантов: 1) под ольхово-ивовыми сообществами: торф древесный, средняя мощность слоя 70 см, реакция среды близкая к нейтральной, зольность увеличивается с глубиной от 8 до 19%; 2) остаточная маломощная (около 70 см) залежь низинного типа после выработки верхового торфяника под современными тростниковыми сообществами с участием березы и золотарника гигантского; степень разложения торфа увеличивается сверху вниз от 50 до 65%, реакция среды кислая (рН<sub>Н2О</sub> 4,5–5,0, рН<sub>КСl</sub> от 3,3 до 4,1), зольность от 4,4 до 7,7%.

Центральная площадь торфовой разработки покрыта березовой порослью с фоном из пушицы влагилищной и зеленых мхов с участием вереска. Сфагновые мхи встречаются разреженно на поверхности торфяника, а в основном заполняют мелкие осушительные каналы и мочажины. Общая мощность торфяной залежи варьирует от 80 до 120 см. Сверху залегают остаточный слой верхового торфа мощностью 20–40 см, в основном моховой по составу, чаще всего среднеразложившийся, сильноокислый ( $pH_{KCl}$  от 3,1 до 4,0), зольность 1,5–5,6%, плотность сложения 0,07–0,09 г/см<sup>3</sup>. Он сменяется хорошо- и сильно разложившимися низинными тростниково-ольховыми торфами с переходным горизонтом к глеевому слою. Реакция среды и зольность увеличиваются книзу.

Максимальная мощность торфяной залежи (130–160 см) обнаружена в зонах разравнивания кавальеров центральных осушительных каналов.

Исследования в зимне-весенний период 2018 г. показали, что глубина промерзания торфа варьирует от 20 см под торфяником с густой березовой порослью до максимальной в 40 см под безлесными участками с пушицей. Частые оттепели, характерные для зим Калининградской области, приводят к формированию двухъярусной мерзлоты с прослойкой воды между мерзлыми слоями. В 2018 г. мерзлота сохранялась вплоть до конца первой декады апреля, уровень грунтовых вод при этом составлял от 10 до 40 см. Поверхностное заболачивание не было сплошным. К концу апреля уровень грунтовых вод опустился до 15–38 см. Заболоченными оставались глубокие мочажины. В зонах кавальеров грунтовые воды обнаруживались на 50–80 см, а в болотных низинных почвах на периферии свободная вода отсутствовала вплоть до водоупорного глеевого горизонта. Такая обстановка указывает на формирование пожароопасной ситуации на торфянике уже в весенний период. Обследование выявило следы ежегодных пожаров: обгоревшие пни, стволы деревьев, пирогающая корочка на поверхности торфа на открытых участках, повышенная зольность слоя 0–5 см (13–23%).

**Заключение.** Современный почвенный покров выработанного торфяного месторождения представляет собой последовательную смену перегнойно-глеевых и болотных эвтрофных почв на периферии массива. Основная часть объекта занята остаточными торфяными олиготрофными маломощными, сменяющимися с глубиной эвтрофными почвами (по классификации 1977 г. болотная верховая торфяная маломощная род переходная, остаточная-низинная, подстилаемая озерно-ледниковыми отложениями).

Осушение торфовой разработки открытыми каналами препятствует развитию болотного процесса и приводит к минерализации остаточного торфяного слоя верхового типа. Быстрое снижение грунтовых вод в весенний период создает пожароопасную ситуацию. Восстановление торфяного болота возможно после повторного обводнения.

*Работа выполнена в рамках проекта «Обследование нарушенных торфяных болот на территории Калининградской области с целью восстановления болотных экосистем».*

### Литература

1. Природа Калининградской области. Водные объекты (справочное пособие) / Ф.Е. Алексеев и др.; составитель В.А. Медведев. Калининград: Исток, 2015. 104 с.
2. Торфяной фонд РСФСР. Калининградская область. Торфяной фонд Калининградской области (по состоянию разведанности на 1 октября 1952 г.). М., 1952.

### THE CONDITION OF THE SOILS OF THE DEVELOPED PEAT DEPOSITS OF THE KALININGRAD REGION

O.A. Antsiferova

Kaliningrad state technical University, Kaliningrad, antsiferova@inbox.ru

**Summary.** *The soil cover of the peat deposit was studied. Drainage by open channels prevents the development of the marsh process and leads to mineralization of the residual peat layer of the upper type. The rapid decline of groundwater in the spring creates a fire hazard situation.*

**Keywords:** *peat deposit, horse marsh soil, marsh lowland soil, groundwater*

## ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ПОЧВ РАЗНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ

Н.Л. Бажина

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, natashabazhina@mail.ru

**Аннотация.** Флуоресцентная спектроскопия позволяет получать информацию об изменении степени сопряженности гуминовой кислоты (ГК), которая фиксируется по изменению положения максимума флуоресценции, а также об изменении степени конденсированности макромолекулы ГК, которая фиксируется по изменению ширины полосы спектра. Это дает возможность использовать флуоресценцию наравне с другими спектральными методами, при выявлении особенностей гуминовых кислот разных условий формирования и оценки их изменчивости в меняющихся условиях природной среды.

**Ключевые слова:** гуминовые кислоты, флуоресцентная спектроскопия, максимум флуоресценции, первый момент, ландшафты, Западная Тува.

**Введение.** С каждым годом флуоресцентная спектроскопия все больше входит в практику изучения свойств гуминовых кислот [1–7], позволяя получать информацию об электронном состоянии гуминовых кислот сформированных в разных природных условиях [8]. Спектры флуоресценции дают возможность выявить изменение степени насыщенности гуминовых кислот высокосопряженными ароматическими структурами, поскольку они имеют в своем составе ряд хромофоров и способны поглощать свет в ультрафиолетовой и видимой областях спектра, а также испускать поглощенный свет в видимой области. Чем более узок спектр флуоресценции, тем более однородна совокупность макромолекул, а интенсивность флуоресценции примерно пропорциональна количеству хромофоров [1].

В отличие от электронных спектров поглощения спектры флуоресценции имеют полосу в определенном спектральном диапазоне с максимумом флуоресценции в диапазоне 420–500 нм, что позволяет получить информацию об изменении степени сопряженности гуминовой кислоты, которое фиксируется по изменению положения максимума флуоресценции. Спектры флуоресценции позволяют судить также о различиях в степени конденсированности макромолекул гуминовой кислоты (ГК), которые отражаются в ширине полосы спектра и количественно представлены в таком его показателе как первый момент ( $M_1$ ) [9–12].

Согласно принципам флуоресцентной спектроскопии, описанным С. Паркером [8], «химически зрелые» гуминовые кислоты с присутствием высокосопряженных ароматических систем имеют в спектрах флуоресценции максимумы в длинноволновой части (красная область), а слабогумифицированные гуминовые кислоты с относительно простой ароматической структурой – в коротковолновой и средней части спектра (синяя и зеленая области).

**Объекты исследования.** Изучены флуоресцентные свойства около 100 образцов гуминовых кислот почв, сформированных в разных ландшафтных условиях Западной Тувы. Подобные материалы для почв Тувы получены впервые и представляют интерес как фактологическая база.

Почвы, из которых выделялись гуминовые кислоты (ГК), расположены на разных ключевых участках с разнообразными условиями формирования и имеют специфический облик, отвечающий экологическим условиям их образования. Именно выделенные из них гуминовые кислоты являлись объектами наших исследований и были использованы для выявления особенностей их флуоресцентных свойств.

Спектры флуоресценции снимались на сканирующем спектрофлуориметре Cary Eclipse Fluorescence Spectrophotometer (возб. = 330 нм). Луч лазера проходил через кювету из кварца (1 см<sup>2</sup>). Подготовка раствора осуществлялась из расчета 1:100 (рН раствора составлял 13,0). Спектры снимались через сутки после приготовления раствора. Кювета заполнялась раствором таким образом, чтобы мениск отсутствовал.

В качестве количественного параметра для характеристики спектров флуоресценции использовали длину волны положения максимума флуоресценции ( $\lambda_{\text{max}}$ ), а также величину первого момента  $M_1$  («центр тяжести спектра» или средневзвешенное значение частоты контура флуоресценции) которая рассчитывалась по формуле [Паркер, 1968]:  $M_1 = \sum I_i \lambda_i / \sum I_i$ , где  $I_i$  – интенсивность в контуре флуоресценции на длине волны  $\lambda_i$ .

**Результаты исследования.** На рисунке приведены спектры флуоресценции гуминовых кислот почв, сформированных в разных экологических условиях. В этих спектрах прослеживается, прежде всего, различное положение максимума флуоресценции.

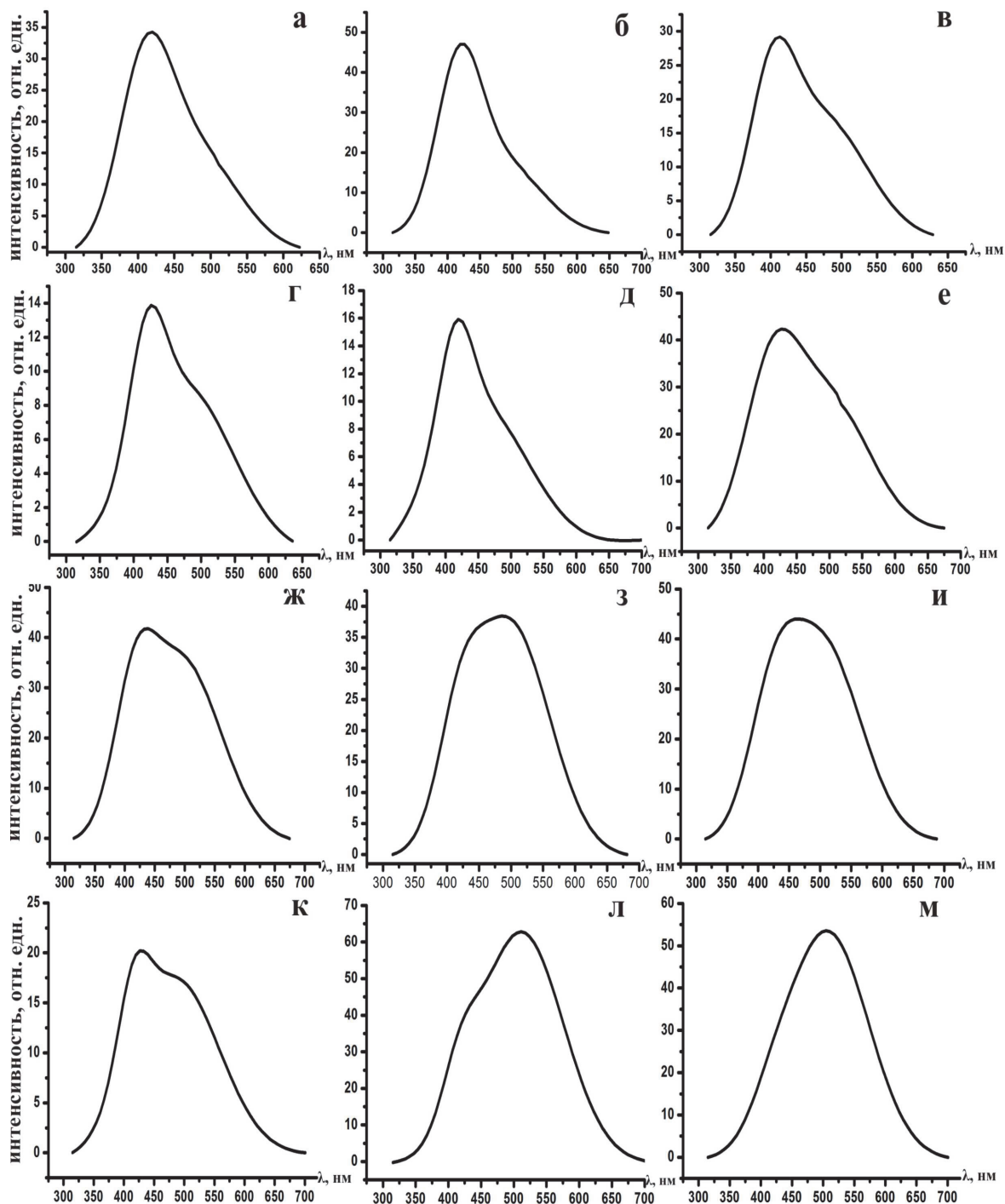


Рис. 1. Спектры флуоресценции гуминовых кислот почв, сформированных в разных природных условиях на территории западной части Тувы. Обозначения: а–в – примитивные горно-тундровые почвы; г–д – горно-тундровые дерновые почвы; е–ж – горно-тундровые степные почвы; з–к – каштановые почвы, сформированных под луговой растительностью; л–м – каштановые почвы, сформированных под сухостепной растительностью

Данные показали, что максимум возбуждения флуоресценции в тундровых почвах в разных подтипах лежит в очень узких пределах (420–424 нм) и относится к самым низким величинам, выявленным в наших исследованиях. Максимальные длины волн, характерные для флуоресценции ГК изученных почв, не превышают 500 нм. Они характерны для горно-каштановых почв, сформированных в местах с относительно теплым и умеренно-засушливым климатическим режимом.

Спектры флуоресценции гуминовых кислот тундровых почв, сформированных в холодных и влажных условиях отражают слабую гумифицированность макромолекул ГК с относительно простой ароматической структурой (рис. 1, а–д). В то же время ГК почв степных условий образования, согласно характеристикам их спектров флуоресценции, отличаются преобладанием ароматических компонентов в их макромолекулах (рис. 1, з–к). Это подтверждается и количественными характеристиками гуминовых кислот, представленных в таблице.

**Количественные характеристики спектров флуоресценции гуминовых кислот горизонта А почв западной части Тувы разных условий формирования**

Ключевой участок	n	$\lambda_{\text{max}}$ , nm	$M_f$ , nm
Горно-тундровые примитивные почвы			
Монгун-Тайга	18	420±0,44	444±1,24
Горно-тундровые дерновые почвы			
Сут-Холь	6	424±0,45	460±0,89
Горные тундро-степные почвы			
Бора-Тайга	9	423±0,54	469±0,10
Горно-каштановые почвы			
Хондергей	7	461±0,12	481±0,58
Кара-Холь	8	467±0,33	479±0,81
Алаш	5	500±0,01	491±0,07

Гуминовые кислоты почв высокогорных (тундровых) условий отличаются пониженными величинами первого момента, который в примитивных тундровых почвах едва превышает 440 нм, увеличиваясь при влиянии на их формирование расположенных в непосредственной близости лесных массивов и степных открытых пространств.

Гуминовые кислоты горно-степных условий функционирования характеризуются спектрами, максимум которых по сравнению с предыдущими сдвинут к красноволновой области, а их первый момент составляет в среднем 480–490 нм, что свидетельствует о повышенной конденсированности макромолекул ГК.

Таким образом, полученные данные о флуоресценции гуминовых кислот, отражающие сложность организации их макромолекулы, не противоречат другим характеристикам, которые обсуждались ранее [13–16]. Это позволяет использовать данный метод (наравне с другими спектральными методами и элементным составом) при выявлении особенностей гуминовых кислот разных условий формирования и оценки их изменчивости в меняющихся условиях природной среды.

## Литература

1. Хомутова Т.Э. Электрофоретические и флуоресцентные свойства гуминовых веществ почв различных экосистем: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1996. 21 с.
2. Лаврик Н.Л., Дергачева М.И., Ковалева Е.И. Изучение влияния орошения на структуру гуминовых кислот, выделенных из каштановых почв Кулундинской степи, методами ИК и люминесцентной спектроскопии // Химия в интересах устойчивого развития. 2000. Т. 8. С. 815–821.
3. Лаврик Н.Л., Сагдиев А.М., Дергачева М.И. Изучение структуры гуминовых кислот, выделенных из почв разной глубины, методами люминесценции и электронного поглощения // Химия в интересах устойчивого развития. 2002. Т. 9. С. 33–38.
4. Дергачева М.И., Некрасова О.А., Лаврик Н.Л. Гуминовые кислоты современных почв Южного Урала / Препринт. 2002. 24 с.

5. Ширшова Л.Т., Хомутова Т.Э., Ермолаев А.М. Исследование гуминовых веществ почвы методом флуоресцентной спектроскопии // *Агрохимия*. 2004. № 4. С. 78–85.
6. Ширшова Л.Т., Холодов А.Л., Ривкина Е.М. Флуоресцентный анализ гуминовых фракций органического вещества многолетнемерзлых отложений: методические аспекты // *Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв*. М.: Наука, 2006. С. 284–294.
7. Ширшова Л.Т., Галичинский Д.А., Остроумова Н.В., Ермолаев А.М. Применение методов оптической спектроскопии для исследования гуминовых веществ мерзлых толщ // *Криосфера Земли*. 2013. Т. 27. № 4. С. 94–104.
8. Паркер С. Введение в фотолюминесценцию растворов. М.: Иностр. лит., 1968. 156 с.
9. Milori D.M.B.P., Martin-Neto L., Bayer C. et al. Humification degree of soil humic acids determined by fluorescence spectroscopy // *Soil Science* 2002. V. 167, № 11. P. 739–749.
10. Sierra M.M.D., Giovanela M., Parlanti E., Soriano-Sierra E.J. Fluorescence fingerprint of fulvic and humic acids from varied origins as viewed by single-scan and excitation / emission matrix techniques // *Chemosphere*. 2005. V. 58. Iss. 6. P. 715–733.
11. Ширшова Л.Т., Холодов А.Л., Ривкина Е.М. Флуоресцентный анализ гуминовых фракций органического вещества многолетнемерзлых отложений: методические аспекты // *Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв*. М.: Наука, 2006. С. 284–294.
12. Senesi N., Miano T.M., Provencano M.R., Brunetti G. Characterization, differentiation and classification of humic substances by fluorescence spectroscopy // *Soil Sci.* 1991. V. 152, № 4. P. 259–271.
13. Дергачева М.И. Гуминовые кислоты как индикатор состояния природной среды // *Проблемы взаимодействия природы и человека: методы, задачи, перспективы*. 1997 б. С. 50–53.
14. Дергачева М.И. Гумусовая память почв // *Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий*. Л.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 530–560.
15. Дергачева М.И. Информация о природной среде, сохраняющаяся во времени в составе и структуре гуминовых кислот // *Гуминовые вещества в биосфере: тр. V Всерос. конф. с международ. участием, Санкт-Петербург, 1–4 марта 2010*. СПб.: ИД СПбГУ, 2010. Ч. 1. С. 26–32.
16. Дергачева М.И., Некрасова О.А., Оконешникова М.В., Васильева Д.И., Гаврилов Д.А., Очур К.О., Ондар Е.Э. Соотношение элементов в гуминовых кислотах как источник информации о природной среде формирования почв // *Сибирский экологический журнал*. 2012а. № 5. С. 667–676.

## FLUORESCENT PROPERTIES OF THE SOIL HUMIC ACIDS OF THE DIFFERENT FORMATION CONDITIONS

N.L. Bazhina

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, natashabazhina@mail.ru

**Summary.** *Fluorescence spectroscopy makes it possible to obtain information on the change in the degree of conjugation of humic acid (HA), which is fixed by the change in the position of the maximum fluorescence, and also on the change in the degree of condensation of the HA macromolecule, which is fixed by the change in the spectral bandwidth. This makes it possible to use fluorescence on an equal basis with other spectral methods, when identifying the characteristics of humic acids of different conditions for the formation and assessment of their variability in the changing conditions of the environment.*

**Keywords:** *humic acids, fluorescence spectroscopy, maximum fluorescence, first moment, landscapes, Western Tuva.*

## ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ ФУНГИЦИДОВ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО

Л.В. Ромадова, Ю.В. Акименко, К.Ш. Казеев

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, kamil\_kazeev@mail.ru

**Аннотация.** Проведенные исследования показали влияние современных препаратов фунгицидов на ферментативную активность чернозема обыкновенного Ростовской области. Фунгициды бастиион, стрекар, инпут и фанданго оказали неоднозначное воздействие на активность каталазы, фосфатазы и дегидрогеназ. Активность каталазы во всех вариантах загрязнения реагировала понижением значений, активность фосфатазы в большинстве случаев загрязнения существенно превышала контрольные значения, кроме вариантов с фунгицидами бастиион и инпут. Не удалось выявить связи между дозой загрязняющих веществ и значениями активности ферментов.

**Ключевые слова:** чернозем обыкновенный, фунгициды, ферментативная активность, биодиагностика, биоиндикаторы.

Значительную часть загрязнений природной среды составляют химические вещества, намеренно вносимые человеком в экосистемы для защиты от болезней, сорняков, грибов и вредителей. Влияние некоторых пестицидов на природную среду изучено недостаточно по причине сложных вариантов их взаимодействия с элементами основных компонентов биотопа и с другими химическими соединениями. Часто неоправданное и неограниченное использование пестицидов приводит к отравлению ядохимикатами и продуктами их распада почвы, воды, воздуха. Анализ этого вопроса с позиций экологической безопасности позволит выявить целесообразность их многочисленного применения.

В последние годы все большее значение приобретают биологические индикаторы антропогенного воздействия на почвы и почвенный покров [1–3]. Ферментативная активность – важный биологический показатель для оценки плодородия почв и ее экологического состояния [4–6]. Большое значение приобретают биологические индикаторы пестицидного загрязнения [7]. Ферментативная активность – важный биологический показатель для оценки плодородия почв. А.Д. Неклюдов [8] показал взаимосвязь активности ферментов почвы со степенью загрязнения ее различными химическими соединениями: удобрениями, пестицидами, гербицидами и другими поллютантами. На ряде конкретных примеров показано, что при помощи измерения активности тех или иных ферментов в почве можно судить о степени ее загрязнения, т.е. использовать активность ферментов в качестве индикатора состояния почвы, показателя ее биохимической активности и последующей ее пригодности для посевов сельскохозяйственных культур.

Ранее были исследованы биологические свойства чернозема обыкновенного для возможности их применения в качестве индикаторов пестицидного загрязнения. Было установлено, что пестициды не оказывали однозначного влияния на ингибирование активности почвенных ферментов и микроорганизмов [7]. Современные препараты пестицидов, в отличие от ранее применяемых пестицидов (особенно хлорорганических), менее токсичны по отношению к почвенной микрофлоре. Применение даже высоких доз исследуемых препаратов пестицидов практически не влияет на биологическую активность чернозема обыкновенного.

Ростовская область почти целиком находится в районах развития черноземных почв, значительную часть которых представляет чернозем обыкновенный, преобладающий на западе Ростовской области. Тот факт, что чернозем обыкновенный является самым плодородным видом черноземов, делает его наиболее благоприятным для сельского хозяйства. В связи с этим было принято решение использовать чернозем обыкновенный для модельных исследований.

Целью работы было диагностирование фунгицидного загрязнения чернозема обыкновенного ботанического сада Южного федерального университета по ферментативной активности.

**Материалы и методы исследований.** Исследовали 4 пестицидов из группы фунгицидов. Инпут представляет собой системный фунгицид, содержащий в качестве активно действующих веществ протиоконазол и спирокарсамин. Препараты на основе протиоконазола относятся ко второму классу опасности для человека и третьему классу опасности для пчел [9]. Фанданго – системный фунгицид для защиты лука, действующее вещество: флуоксастробин, 100 г/л + протиоконазол, 100 г/л. Бастион – фунгицид для протравливания семян озимой пшеницы, действующее вещество – дифеноконазол (30 г/л) и ципроконазол (6,25 г/л). Стрекар – фунгицид на основе фитобактериомицина (25 г) и карбендазима (70 г).

Доза вносимых пестицидов составила 100 мг/1 кг почвы. Срок инкубации – 10 суток. Контролем служила незагрязненная почва. Фунгициды бастион и стрекар исследовали дополнительно для выявления зависимости воздействия от дозы пестицида. В этом опыте дозы вносимых препаратов составили 10, 100, 1000 мг/кг почвы.

Объект исследования – чернозем обыкновенный карбонатный среднесуглинистый обладает слабощелочной реакцией среды (рН), низким содержанием гумуса (около 4%). Почву для опытов отбирали из пахотного горизонта чернозема в Ботаническом саду Южного федерального университета, расположенном в черте г. Ростова-на-Дону. Эти почвы занимают значительные площади в Ростовской области и хорошо исследованы [10–11].

Активность ферментов (пероксидазы, каталазы и фосфатазы) определяли в 9-кратной повторности по традиционным методам исследования [12].

**Результаты и обсуждение.** По результатам модельного эксперимента в вегетационных сосудах установлено, что после внесения в чернозем фунгицидов стрекар и бастион активность почвенных ферментов изменялась по-разному в зависимости от вида пестицида, его дозы и природы фермента.

Активность каталазы в черноземе во всех вариантах снизилась. Достоверные различия, практически независимые от дозы, зафиксированы при загрязнении бастионом (снижение активности фермента составили 7–16% от контроля). Внесение стрекара вызвало незначительное недостоверное снижение активности каталазы, также независимое от дозы пестицида.

Внесение обоих препаратов в низкой дозе (10 мг/кг) вызвало повышение активности дегидрогеназ на 14–28%. Характер поведения активности дегидрогеназ при внесении фунгицидов в высоких дозах различался. В случае воздействия фунгицида стрекар в высокой дозе (100 мг/кг) было зафиксировано приближение значений к контрольным. Дальнейшее повышение дозы пестицида привело к незначительному понижению активности дегидрогеназ относительно контроля. Однако эти изменения статистически недостоверны. При воздействии фунгицида бастион в тех же дозах выявлено, что активность дегидрогеназы выше, чем в контроле (на 14–18%, но несколько ниже, чем при дозе 10 мг/кг. На основе этого можно сделать вывод, что активность дегидрогеназы в варианте с препаратом «Бастион» не зависит от дозы загрязняющего вещества.

Активность фосфатазы во всех вариантах с загрязнением была повышена. Максимальное повышение отмечено при низкой дозе внесения стрекара (81%) и средней дозе бастиона (73%).

Ранее [7, 13] был установлен факт снижения активности почвенной каталазы при сверхвысоких дозах пестицидов. Низкие дозы пестицидов не оказывали существенного изменения ферментативной активности. Настоящие исследования показали, что активность фосфатазы – фермента из класса гидролаз, может существенно повышаться при фунгицидном загрязнении. Внесение Бастиона вызвало значительное повышение активности фосфатазы в дозе 100 мг/кг почвы, Стрекар – в дозе 10 и 100 мг/кг. Повышение дозы пестицида до 1000 мг/кг приводит к снижению стимулирующего воздействия и возраст значений активности до контрольных значений.

Загрязнение фунгицидами в микроделяночном опыте Ботанического сада привело к неоднозначным результатам (рис.). Активность оксидоредуктаз во всех вариантах загрязнения была снижена относительно контроля. Ингибирование каталазы всеми пестицидами составило 13–18%, активность дегидрогеназ была понижена на 2–21%. Активность фосфатазы отзывается на загрязнение разными фунгицидами разнонаправленно. Стрекар и, особенно, басти-



он в значительной мере ингибировали активность каталазы (на 30 и 70%). В то же время стрекар и фанданго повысили активность фосфатазы на 34–74% относительно активности фермента в незагрязненной почве. Внесение инпута не оказало никакого воздействия.

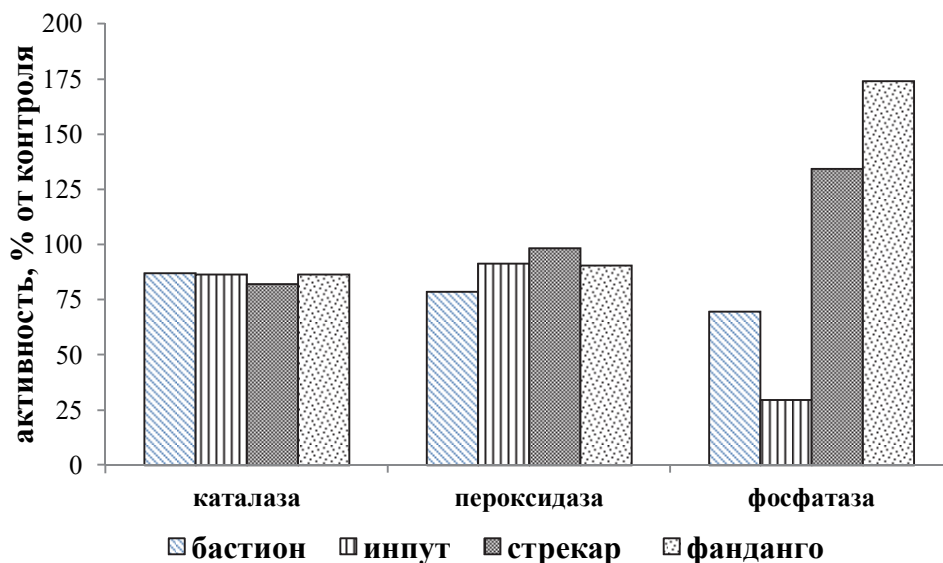


Рис. 1. Влияние фунгицидов на ферментативную активность чернозема

Таким образом, установлено изменение активности ферментов при пестицидном загрязнении. Активность каталазы во всех случаях ингибировалась, активность дегидрогеназ изменялась различным образом, активность фосфатазы в большинстве случаев реагировала существенным повышением активности. Однако в полевом опыте ее активность существенно подавлялась фунгицидами бастион и инпут. Установить зависимость реакции ферментативной активности от дозы фунгицидов не удалось, однако были выявлены особенности воздействия разных препаратов пестицидов.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки РФ (5.5735.2017/8.9) и ведущей научной школы РФ (НШ-3464.2018.11).*

### Литература

1. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние антибиотиков (бензилпенициллина, фармазина, нистатина) на численность микроорганизмов в черноземе обыкновенном // Сибирский экологический журнал. 2014. Т. 21, № 2. С. 253–258.
2. Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Интегральная оценка электромагнитных воздействий различной природы на биологические свойства почв юга России // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1386–1390.
3. Kolesnikov S.I., Gaivoronskii V.G., Rotina E.N., Kazeev K.S., Valkov V.F. Assessment of soil tolerance toward contamination with black oil in the south of Russia on the basis of soil biological indices: a model experiment // Eurasian Soil Science. 2010. Т. 43, № 8. С. 929–934.
4. Даденко Е.В., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Оценка применимости показателей ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв // Поволжский экологический журнал. 2013. № 4. С. 385–393.
5. Burns R.G., DeForest J.L., Marxsen J., Sinsabaugh R.L., Stromberger M.E., Wallenstein M.D., Weintraub M.N., Zoppini A., Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions // Soil Biol. Biochem. 2013. V. 58. P. 216–234.
6. Dick R.P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality // Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Sci. Soc. Amer., 1994. P. 107–124.
7. Казеев К.Ш., Лосева Е.С., Боровикова Л.Г., Колесников С.И. Влияние загрязнения современными пестицидами на биологическую активность чернозема обыкновенного // Агрохимия. 2010. № 11. С. 39–44.

8. Неклюдов А.Д. Взаимосвязь активности ферментов почвы со степенью ее загрязнения химическими соединениями // Экологические системы и приборы. 2006. № 9. С. 13–22.
9. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации (по состоянию на 26 апреля 2018 г.) Часть I: Пестициды. Издание официальное. М., 2018. 960 с.
10. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Ростовской области. Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета 2012. 492 с.
11. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Атлас почв Азово-Черноморского бассейна. Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2015. 80 с.
12. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
13. Бахарева Л.В., Казеев К.Ш. Диагностика загрязнения чернозема фунгицидами Бастион и Стрекар по фитотоксичности почвы // Биодиагностика и оценка качества природной среды: подходы, методы, критерии и эталоны сравнения в экотоксикологии: Материалы международного симпозиума и школы, МГУ, 25–28 октября 2016 г. М.: ГЕОС, 2016. С. 323–325.

## INFLUENCE OF FUNGUCIDES ON ENZYME ACTIVITY OF ORDINARY CHERNOZEM

L.V. Romadova, Yu.V. Akimenko, K.Sh. Kazeev

Southern Federal University, Rostov-on-Don, kamil\_kazeev@mail.ru

**Summary.** *The influence of modern fungicide preparations on the enzyme activity of chernozem in the Rostov region is shown. Fungicides bastion, strekar, input and fandango had an ambiguous effect on the activity of catalase, phosphatase and dehydrogenases. The activity of catalase reacted with a decrease in the values in all contamination variants. The phosphatase activity significantly exceeded the control values in most cases, except for the variants with contamination of the bastion and the input. The relationship between the dose of pollutants and the values of enzyme activity is not established.*

**Keywords:** *common black chernozem, fungicides, enzyme activity, biodiagnosics, bioindicators.*

## ФОРМИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА КРИОГЕННЫХ ПОЧВ НА ГАРЯХ РАЗНОГО ВОЗРАСТА

И.Н. Безкоровайна<sup>1</sup>, А.В. Климченко<sup>2</sup>, О.М. Шабалина<sup>1</sup>,  
И.В. Борисова<sup>1</sup>, Г.И. Кастерин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, [ibezkorovaunaya@sfu-kras.ru](mailto:ibezkorovaunaya@sfu-kras.ru)

<sup>2</sup> Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

**Аннотация.** *Проведен анализ годовой и суточной динамики температур подбуров в послепожарных лиственничниках северной тайги Центральной Эвенкии. Показано, что основное влияние пирогенного фактора на температурный режим криогенных почв проявляется в первые годы после пожара в подстилке и верхнем минеральном слое 0–5 см. Выявлены более резкие годовые и суточные колебания почвенных температур для свежих гарей. По мере формирования напочвенного покрова и накопления подстилки амплитуда колебаний температур в подстилке и верхнем минеральном слое почвы становится менее выраженной.*

**Ключевые слова:** *криогенные почвы, послепожарные лиственничники, температурный режим почв.*

Фиксируемое в настоящее время устойчивое возрастание приземной температуры в экстремальных условиях криолитозоны становится одним из ведущих факторов, определяющих не только состояние и продуктивность лесных экосистем, но и частоту и площадь лесных пожаров. Тренд повышения активности пожаров и горимости лесов Сибири подтверждается данными разных лет [1, 2].

Одним из лимитирующих факторов развития и функционирования северных лесов является температурный режим криогенных почв. По данным А.С. Прокушкина [3] в лиственничниках северной тайги температура деятельного слоя почвы находится в прямой зависимости от степени развития теплоизолирующего мохово-лишайникового покрова и мощности подстилки. После лесных пожаров с уничтожением напочвенного покрова и подстилки происходит увеличение инсоляции и снижение альбедо поверхности, что не может не отражаться на почвенных биологических процессах, особенно в первые годы после пожара [4, 5].

Исследования проводились в зоне сплошного распространения мерзлоты в пределах бассейнов рек Нижняя Тунгуска и Кочечум (Центральная Эвенкия) в лиственничниках (*Larix gmelinii*) северной тайги. Пробные площади представлены гарями разного возраста – 1–4 года и 24–25 лет. Пожары были высокоинтенсивные с полной гибелью древостоя. Лиственничники более старшего послепожарного возраста рассматриваются как условно ненарушенные и являются контрольными участками.

Лиственничники сформированы на подбурях средне- и тяжелосуглинистых. Подбуры составляют основной почвенный фон данной территории, они занимают не только склоновые позиции, но и междуречья, перекрытые траптовой формацией. Почвы характеризуются хорошим дренажом и оттаиванием мерзлоты в конце вегетационного периода на всю глубину почвенного профиля и по теплообеспеченности относятся к мерзлотным сезонно-талым.

Анализ температуры воздуха за период наблюдений показал, что среднегодовая температура воздуха составила  $-6,6^{\circ}\text{C}$ , сумма активных температур равна  $1402,7^{\circ}\text{C}$  при продолжительности вегетационного периода 92 дня. Средняя температура января составила  $-33,4^{\circ}\text{C}$ , для июля –  $17,4^{\circ}\text{C}$ .

На каждой пробной площади были заложены 10-метровые трансекты, которые пересекали основные элементы микрорельефа – микропонижения и микроповышения. Вдоль каждого трансекта на учетных площадках был проведен учет фитомассы напочвенного покрова, запасов подстилок по общепринятым методикам [4, 5].

Данные годовой динамики температуры почвы получены с помощью многоканальных регистраторов температуры и влажности HOBO MicroStation. Данные получены для биологи-

чески активного слоя почвы: на контроле измерения проводились в нижней части подстилки и в минеральном слое на глубине 5 см; на гари – в нижней части пирогенно трансформированного органического горизонта и в минеральном слое на глубине 5 см.

Северотаежные лиственничники имеют сложный микрорельеф. На плакорных участках и на склонах северной экспозиции ярко выражено сочетание микроповышений и микропонижений. Такие различия обуславливают пространственную неоднородность мохово-лишайникового яруса и подстилок.

Возможные изменения температурного режима почв на глубине деятельного слоя в течение вегетационного периода в криогенных лесных экосистемах зависят от микрорельефа, инсоляции, мощности мохово-лишайникового слоя и послепожарного возраста. В исследуемых сообществах мощность деятельного слоя в почвах контрольных лиственничников изменяется от 40 до 80 см, в почвах гарей – от 65 до 170 см [6].

Общий запас фитомассы живого напочвенного покрова варьирует от 60 г/м<sup>2</sup> на свежих гарях до 1340 г/м<sup>2</sup> в ненарушенных лиственничниках. В структуре фитомассы на свежих гарях напочвенный покров представлен активно заселяющими свежее гари *Chamerion angustifolium*, *Arctostaphylos uva-ursi* и *Vaccinium vitis-idaea*, на гари 25-летнего возраста и контрольных лиственничниках преобладают мхи, значительна доля кустарничков – *Ledum palustre*, *Vaccinium vitis-idaea* и *V. uliginosum*.

Подстилки в исследованных лиственничниках представляет собой рыхлую плохо разложившуюся массу растительных остатков, мощностью 15–25 см. Запасы характеризуются высокой вариабельностью в зависимости от приуроченности к элементам микрорельефа и колеблются от 3700 г/м<sup>2</sup> на буграх до 6900 г/м<sup>2</sup> в западинах. В первые годы после пожара мощность пирогенно трансформированной подстилки не превышает 2 см на буграх и 3–5 см в западинах. Ее запасы снижаются до 700 г/м<sup>2</sup> и представлены свежим послепожарным опадом лиственницы (шишки, ветки, хвоя) и травяно-кустарничкового яруса. Через 25 лет после пожара, когда под покров кустарничков начинают внедряться лесные мхи, запасы подстилки приближаются к таковым на контрольных площадках и составляют в среднем 3600 г/м<sup>2</sup>.

Сразу после пожара и по мере формирования напочвенного покрова и подстилок в послепожарный период происходит трансформация и температурного режима почвы. Послойное измерение температуры минерального слоя почвы до 20 см в исследуемых лиственничниках было проведено в середине вегетационного периода (июль). Показано, что основное влияние пирогенного фактора на температурные условия проявляется в подстилках и верхнем минеральном слое 0-5 см и в первый год после пожара температура может превышать 25°C, в минеральном слое 5-10 см температура на десять градусов выше таковой 24-летней гари и контрольного лиственничника. Через 24 года после пожара температура в подстилке и в минеральном слое почвы 20 см близки к таковым контрольного участка (рис. 1).

Анализ годовой динамики температур в исследуемых лиственничниках показал, что на контрольном участке годовая динамика температур изменяется плавно от 15°C (среднемесячный максимум) в июле до –6°C (среднемесячный минимум) в декабре-январе (рис. 2, К). Среднемесячные температуры подстилки и 0–5 см минерального слоя почвы близки между собой и только в летний период температура подстилки на три градуса превышает таковую исследуемого минерального слоя.

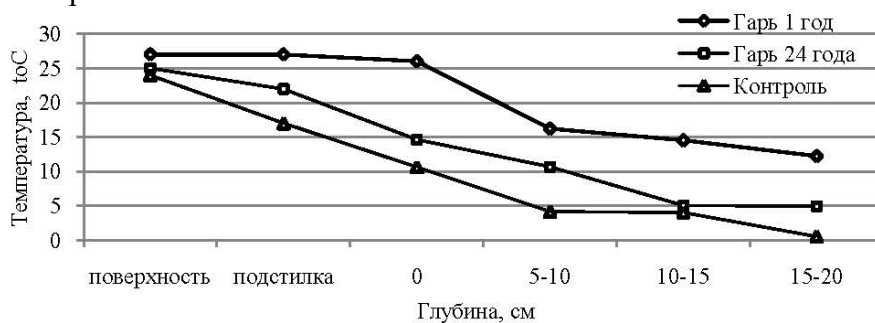


Рис. 1. Динамика температур почвы на контрольном участке и гарях разного возраста (июль)

На свежей гари отсутствие напочвенного покрова и подстилки приводит к более сильному промерзанию минерального слоя почвы 0–5 см в зимний период до  $-13^{\circ}\text{C}$  (среднемесячный минимум) в декабре-январе и увеличению температуры в летний период до  $15^{\circ}\text{C}$  (среднемесячный максимум) в июле (рис. 2, Г). Причем, на гари отмечены более резкие колебания температур – так уже с мая по июнь, наблюдается резкий скачок температуры на  $15^{\circ}$ . Однако период среднемесячных положительных (май-октябрь), как на контрольном, так и на выгоревшем участке наступает и заканчивается одновременно.

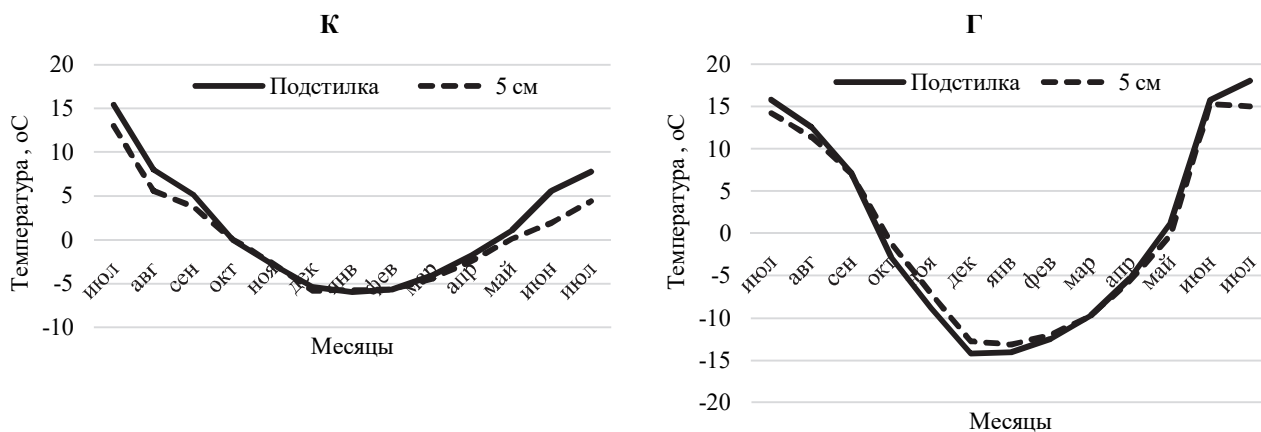


Рис. 2. Годовая динамика температуры почвы в контрольном лиственничнике (К) и 2 летней гари (Г)

Выявлена особая роль напочвенного покрова и подстилки в формировании температурного режима в послепожарных лиственничниках. Полученные зависимости температуры верхнего минерального слоя почвы 0–5 см от запасов фитомассы напочвенного покрова и запасов подстилок отражают большую зависимость температуры почвы под органомогенным горизонтом от его запасов (рис. 3).

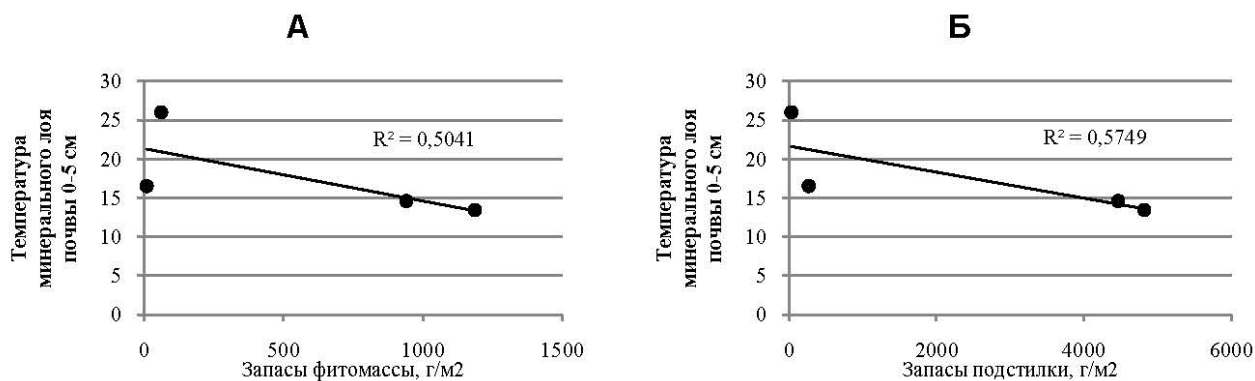


Рис. 3. Зависимость температуры минерального слоя почвы 0-5 см от запасов фитомассы (А) и подстилки (Б)

Амплитуда суточных колебаний летних температуры в пирогенно трансформированном органомогенном горизонте может составлять более пятнадцати градусов, тогда как в ненарушенной подстилке она не превышает пяти градусов. Отсутствие мохово-лишайниковой подушки на гари обуславливает более интенсивный тепло- и влагообмен между почвой и приземным слоем атмосферы. В минеральном слое почвы 0–5 см амплитуды колебаний температур на гари и контрольном участке менее выражены и близки между собой.

Таким образом, анализ годовой динамики температуры верхних биологически активных слоев криогенных почв северотаежных лиственничников показал, что в первые годы после пожара пирогенная трансформация напочвенного покрова и подстилок способствует более быстрому промерзанию почвы в зимний период, а в летний период, за счет снижения альбедо поверхности, происходит увеличение средних температур на  $3-5^{\circ}\text{C}$ . На свежих гари динамика температур верхних слоев почвы имеет более резкие колебания в сравнении с лист-

венничниками более старшего послепожарного возраста (> 25 лет). Амплитуда суточных колебаний летних температуры в пирогенно трансформированном органическом горизонте может составлять более пятнадцати градусов, тогда как в ненарушенной подстилке она не превышает пяти градусов. В минеральных слоях почвы суточные колебания температур на гаях и в листовничниках менее выражены и близки между собой.

*Работа выполняется при поддержке грантов РФФИ №16-04-00796а и №17-41-240475р-а*

### Литература

1. Loupian, E.A., Mazurov, A.A., Flitman, E.V., Ershov, D.V., Korovin, G.N., Novik, V.P., ... & Tatarnikov, A.V. Satellite Monitoring of Forest Fires in Russia at Federal and Regional Levels // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2006. Vol. 11. P. 113–145.
2. Пономарёв Е. И., Харук В. И. Горимость лесов Алтае-Саянского региона в условиях наблюдаемых изменений климата // Сибирский экологический журнал. 2016. №. 1. С. 38–46.
3. Прокушкин С.Г., Абаимов А.П., Прокушкин А.С., Каверзина Л.Н. Азотное питание листовничников на мерзлотных почвах // Сибирский экологический журнал. 2002. № 2. С. 203–211.
4. Тарасов П.А., Иванов В.А., Безкоровайная И.Н. Изучение пирогенного влияния на водные свойства и гидротермические условия сосняков средней тайги // Непрерывное экологическое образование и экологические проблемы. Красноярск: СибГТУ, 2004. Т. 1. С. 59–62.
5. Безкоровайная И.Н., Тарасов П.А., Иванова Г.А., Богородская А.В., Краснощекова Е.Н. Азотный фонд песчаных подзолов после контролируемых выжиганий сосняков Средней Сибири // Почвоведение. 2007. № 6. С. 775–783.
6. Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность, 1981. 264 с.
7. Ведрова Э. Ф., Климченко А. В. Динамика экологических функций листовничников северной тайги под воздействием пожаров // Сибирский экологический журнал. 2007. Т. 14, №. 2. С. 263–273.
8. Безкоровайная И.Н., Борисова И.В., Климченко А.В., Шабалина О.М., Захарченко Л.П., Ильин А.А., Бескровный А.К. Влияние пирогенного фактора на биологическую активность почв в условиях многолетней мерзлоты (Центральная Эвенкия) // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. № 9 (132). С. 181–189.

### FORMATION OF THE TEMPERATURE OF CRYOGENIC SOILS IN POST-FIRE LARCH FOREST AFTER FIRES OF A DIFFERENT AGE

I.N. Bezkorovaynaya<sup>1</sup>, A.V. Klimchenko<sup>2</sup>, O.M. Shabalina<sup>1</sup>, I.V. Borisova<sup>1</sup>, G.I. Kasterin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk, ibezkorovaynaya@sfu-kras.ru

<sup>2</sup> V.N.Sukachev Institute of Forest SB RAS, Russia, Krasnoyarsk

**Summary.** *The analysis of the annual and diurnal dynamics of the temperatures of cryosols turbic in the post-fire larch forest of the northern taiga of the Central Evenkia is carried out. It is shown that the main influence of the fire factor on the temperature regime of cryogenic soils is manifested in the first years after a fire in the litter and the upper mineral layer 0-5 cm. The more sharp annual and diurnal fluctuations of soil temperatures for fresh fires have been revealed. As the ground cover is formed and the forest floor accumulates, the amplitude of temperature fluctuations in the forest floor and the upper soil mineral layer becomes less pronounced.*

**Keywords:** *cryogenic soils, post-fire larch forests, temperature regime of soils*

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА ПОЧВ ВДОЛЬ ТРАНСЕКТЫ ОТ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ДО ЮЖНОЙ ТУНДРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.А. Бобрик, О.Ю. Гончарова, Н.М. Петржик, Г.В. Матышак, И.М. Рыжова

Факультет почвоведения, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, ann-bobrik@yandex.ru

**Аннотация.** В работе представлена оценка закономерностей распределения компонентов углеродного цикла (содержание лабильного и микробного углерода, эмиссия диоксида углерода) в почвах типичных экосистем Западной Сибири вдоль существующих естественных биоклиматических, экологических, геокриологических градиентов окружающей среды. Оценена зависимость эмиссии CO<sub>2</sub> от гидротермических и геокриологических параметров почв и содержания в них лабильного и микробного углерода в различных условиях проявления криогенеза.

**Ключевые слова:** эмиссия углерода, многолетнемерзлые породы, цикл углерода, криогенные почвы.

Актуальность научной проблемы, на решение которой направлено данное исследование, обусловлена наблюдаемыми в настоящее время изменениями Арктических экосистем на всех уровнях организации, возникающими в связи с изменяющимися климатическими параметрами, усиливающейся антропогенной нагрузкой и возможной деградацией многолетней мерзлоты. Экосистемы Севера, в свою очередь, меняясь, могут оказывать существенное влияние на природное равновесие, например, за счет изменения параметров углеродного баланса (ускорение минерализации органического вещества почв и законсервированного в мерзлоте, увеличение эмиссии парниковых газов и пр.). Целью настоящей работы является оценка закономерностей эмиссии CO<sub>2</sub> и содержания депонированного органического углерода почв экосистем северной тайги, лесотундры и южной тундры Западной Сибири.

Исследования проведены на северной границе северной тайги (Надымский район, ЯНАО) в зоне прерывистого распространения многолетнемерзлых пород, на южной границе лесотундры (Ново-Уренгойский район, ЯНАО) и в южной тундре (Тазовский п-ов, ЯНАО) в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород.

В полевых условиях проведено описание почвенного и растительного покрова. Определение эмиссии диоксида углерода с поверхности почвы проводилось однократно за полевой сезон для каждого пикета мониторинговых площадок в разных природных зонах методом статичных закрытых камер с удалением растительного покрова с помощью портативного газоанализатора с инфракрасным датчиком RMT DX6210. Параллельно проводили измерение температуры воздуха с помощью программируемого микро-термодатчика ThermochroniButton™. Объемную влажность почвы измеряли в верхнем слое почвы с помощью влагомера Spectrum TDR 100, а температуру почвы – термометром электронным TP3001. Проведен отбор образцов исследованных почв. В лабораторных условиях определение содержания углерода лабильного органического вещества проводилось в вытяжке 0.05M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> на автоматическом анализаторе TOC-V<sub>CPN</sub>(Shimadzu). Определение содержания углерода микробной биомассы проводилось методом фумигации-экстракции.

В подзоне северной тайги исследования пространственного варьирования свойств почв проводилось на площади 0,01 км<sup>2</sup> в двух типах экосистем (мониторинговая площадка 100 м\*100 м, n=121, 65°20' с.ш., 72°55' в.д.): 1) типичный участок плоскобугристого торфяника; 2) заболоченный участок. Установлено, что среднее содержание органического углерода и азота в верхней 15-см толще почв мониторинговой площадки составляет соответственно 34,24±1,92% и 1,10±0,06%, при этом в почвах торфяника эти показатели составляют 31,88±3,02% и 1,06±0,10% соответственно [1]. Среднее содержание лабильного органического углерода в верхней 15-см толще почв мониторинговой площадки составляет 13100±2100 мгС\*кг<sup>-1</sup> почвы, при этом в почвах торфяника – 1400±300 мгС\*кг<sup>-1</sup> почвы, а на за-

болоченном участке –  $31100 \pm 2200$  мгС\*кг<sup>-1</sup> почвы. Установлено, что на 22% варьирование содержания лабильного углерода связано с варьированием содержания общего углерода, а на 38,5% – с варьированием объемной влажности почвы. Среднее содержание углерода микробной биомассы в верхней 15-см толще почв мониторинговой площадки составляет  $3300 \pm 600$  мгС\*кг<sup>-1</sup> почвы. При этом в почвах торфяника оно выше более чем в 17 раз чем на заболоченном участке ( $4260 \pm 880$  мгС\*кг<sup>-1</sup> почвы и  $240 \pm 50$  мгС\*кг<sup>-1</sup> почвы соответственно). Пространственное распределение С общ, С лаб и С мик зависит от влажности почвы ( $p$ -level $<0,05$ ,  $r=0,70$ ,  $r=0,62$ ,  $r=0,70$  соответственно) и выраженности микрорельефа.

Эмиссия CO<sub>2</sub> почвами плоскобугристого торфяника и заболоченного участка варьировала в широких пределах (от 10 до 400 мгСО<sub>2</sub>\*м<sup>-2</sup>\*час<sup>-1</sup>) и составляла в среднем  $142 \pm 21$  и  $127 \pm 17$  мгСО<sub>2</sub>\*м<sup>-2</sup>\*час<sup>-1</sup> (коэф. вариации 57% и 68%) в августе 2013 и 2014 гг. соответственно. Почвы торфяника (n=74) и заболоченного участка (n=42) статистически значимо отличались по эмиссии CO<sub>2</sub> как в августе 2013г, так и в августе 2014 г[1].

В лесотундре на уровне основных типов экосистем исследование свойств почв проводилось на площади 0,01 км<sup>2</sup> (мониторинговая площадка 100 м\*100м, n=121, 66°10' с.ш., 76°55' в.д.). Содержание лабильного органического углерода в верхней 15-см толще почв изученных экосистем варьировало в широких пределах (от 26 до 2166 мгС\*кг<sup>-1</sup> почвы) и в среднем составило  $955 \pm 150$  мгС\*кг<sup>-1</sup> почвы. Содержание углерода микробной биомассы в верхней 15-см толще почв мониторинговой площадки варьировало в широких пределах (от 48 до 6772 мгС\*кг<sup>-1</sup> почвы) и в среднем составило  $2255 \pm 404$  мгС\*кг<sup>-1</sup> почвы[2]. Пространственное распределение содержания лабильного и микробного углерода в почвах изученных экосистем в большей мере определяется влажностью почвы ( $r=0,80$ ,  $p$ -level $<0,05$  и  $r=0,64$ ,  $p$ -level $<0,05$  соответственно).

Почвы основных экосистем лесотундры в пик вегетационного сезона характеризуются низкими значениями эмиссии CO<sub>2</sub> и ее высокой пространственной вариабельностью ( $202 \pm 37$  мгСО<sub>2</sub>\*м<sup>-2</sup>\*час<sup>-1</sup>, коэф. вариации 73%, август 2015). Минимальные величины отмечены в полугидроморфных экосистемах багульниково-лишайниковых и морошково-сфагновых плоскобугристых торфяников [2].

В южной тундре исследование свойств почв проводилось на мониторинговой площадке на п-ве Тазовский (мониторинговая площадка 70м\*100м, n=77, 67°48с.ш., 76°69 в.д.). Объект исследования характеризовался однородной фациальной структурой растительного покрова. Почвенный покров площадки характеризуется слабой неоднородностью и представлен комплексом криометаморфических и криотурбированных почв, приуроченным к элементам криогенного микрорельефа[3].

Эмиссия диоксида углерода почвами мониторинговой площадки в южной тундре варьировала в широких пределах (от 60 до 470 мг СО<sub>2</sub>\*м<sup>-2</sup>\*час<sup>-1</sup>) и составляла в среднем  $198 \pm 75$  м<sup>2</sup>\*час<sup>-1</sup>. На 8% варьирование эмиссии диоксида углерода связано с варьированием объемной влажности почвы, на 13% – с варьированием содержания лабильного углерода, на 10% – с варьированием абсолютных высот местности, а на 69% варьирование этих признаков осуществляется взаимно независимо [3].

Содержание лабильного органического углерода почв в верхней 15-см толще мониторинговой площадки в южной тундре в среднем составляло  $91 \pm 71$  мгС\*кг<sup>-1</sup> почвы, при значительном варьировании от 2 до 486 мгС\*кг<sup>-1</sup> почвы. Содержанием лабильного углерода менее 100 мгС\*кг<sup>-1</sup> почвы характеризовались почвы, расположенные на 70% точек опробования. Содержание углерода микробной биомассы почв в верхней 15-см толще почв мониторинговой площадки в среднем составляло  $1005 \pm 647$  мгС\*кг<sup>-1</sup> почвы, при значительном варьировании от 98 до 2990 мгС\*кг<sup>-1</sup> почвы

В ходе проведенного исследования установлено, что почвы южной тундры, так же как северной тайги и лесотундры Западной Сибири, характеризуются не высокими значениями эмиссии диоксида углерода ( $198 \pm 75$ ,  $142 \pm 21$  и  $202 \pm 142$  мгСО<sub>2</sub>\*м<sup>-2</sup>\*час<sup>-1</sup>, соответственно), что свидетельствует об их низкой биологической активности по сравнению с почвами других природных зон [1-3]. Средние значения эмиссии CO<sub>2</sub> из почв исследованных регионов стати-



стически значимо не различаются, что объясняется ее высокой пространственной вариабельностью (коэффициенты вариации равны 85, 73 и 36% в северной тайге, лесотундре, южной тундре, соответственно). Следовательно, различия в биологической активности почв сравниваемых регионов выражены чрезвычайно слабо.

Установлено, что наибольшее влияние на эмиссию CO<sub>2</sub> почвами северной тайги и лесотундры Западной Сибири среди изученных факторов оказывает мощность сезонноталого слоя, содержание лабильного углерода в почве и ее влажность. Сравнение результатов множественного регрессионного анализа данных, характеризующих почвы основных экосистем северной тайги и лесотундры, показало, что в обоих случаях ведущими факторами, определяющими эмиссию CO<sub>2</sub> из почв, являются мощность СТС, содержание лабильного органического вещества в почве и ее влажность. Изучаемая зависимость эмиссии CO<sub>2</sub> из почв от рассматриваемых условий среды более четко проявляется в лесотундре, о чем свидетельствует лучшее качество регрессионной модели. Это обусловлено в большей мере различным проявлением криогенеза.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (проект № МК 1181.2018.5).*

### Литература

1. Бобрик А.А., Гончарова О.Ю., Матышак Г.В., Рыжова И.М., Макаров М.И. Влияние геокриологических условий и свойств почв на пространственное варьирование эмиссии CO<sub>2</sub> почвами плоскобугристых болот островной криолитозоны Западной Сибири // Почвоведение. 2016. № 12. С. 1445–1456. DOI: 10.7868/S0032180X1610004X.

2. Бобрик А.А., Гончарова О.Ю., Матышак Г.В., Дроздов Д.С., Пономарева О.Е. Вклад абиотических факторов в пространственное варьирование эмиссии CO<sub>2</sub> почв лесотундровой зоны Западной Сибири (Новый Уренгой) // Криосфера Земли. 2017. Т. 21, № 2. С. 52–59.

3. Бобрик А.А., Гончарова О.Ю., Матышак Г.В., Тархов М.О., Петржик Н.М., Пономарева О.Е. Закономерности пространственного распределения компонентов углеродного цикла почв и факторов окружающей среды в южнотундровых экосистемах Западной Сибири (Тазовский п-ов) // Криосфера Земли. 2018 (в печати)

### THE SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL CARBON CYCLE COMPONENTS ALONG THE TRANSECT FROM THE NORTH TAIGA TO SOUTH TUNDRA OF WESTERN SIBERIA

A.A. Bobrik, O.Yu. Goncharova, N.M. Petrzhik, G.V. Matyshak, I.M. Ryzhova

Department of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, Moscow, ann-bobrik@yandex.ru

**Summary.** *The paper presents an assessment of the regularities in the distribution of the components of the carbon cycle (the content of labile and microbial carbon, the emission of carbon dioxide) in soils of typical ecosystems of Western Siberia along existing natural bioclimatic, ecological, geocryological gradients of the environment. The dependence of CO<sub>2</sub> emission on hydrothermal and geocryological parameters of soils and the content of labile and microbial carbon under different conditions of cryogenesis was estimated.*

**Keywords:** *carbon emissions, permafrost, carbon cycle, permafrost-affected soils.*

## СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Е.Н. Богатырева, Т.М. Серая

Институт почвоведения и агрохимии, Минск, Беларусь, elena\_trokai68@mail.ru

**Аннотация.** *Представлены данные по влиянию жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах: при ежегодном внесении в дозах от 100–200 до 900–1000 т/га в течение 20–30 лет содержание Fe увеличилось на 13–199%, Cu – 11–229%, Zn – 21–547%, Mn – 16–175%. Превышения ПДК в почвах не обнаружено, наблюдаемые негативные тенденции увеличения  $K_c$  и  $Z_c$  указывают на экологические риски при постоянной утилизации высоких доз этих органических удобрений на ограниченной территории.*

**Ключевые слова:** *дерново-подзолистые почвы, жидкий навоз КРС, свиные навозные стоки, подвижные формы тяжелых металлов.*

На сегодняшний день в Республике Беларусь функционирует 78 комплексов по откорму КРС и 120 свинокомплексов, что приводит к ежегодному накоплению более 12 млн. тонн экскрементов, при смывании которых технологической водой, в зависимости от ее количества, образуются жидкий навоз и навозные стоки. Отходы предприятий животноводства во всем мире используют в качестве органических удобрений и, при правильном использовании, они оказывают положительное влияние на плодородие почв и урожайность возделываемых культур [1, 2]. Однако в условиях реального производства в силу складывающихся обстоятельств эти удобрения в основном вносят в радиусе не более 5–6 км от животноводческих комплексов. В результате нагрузка жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на 1 га пахотных земель в отдельных хозяйствах может составлять 600 тонн и более. Поступление в почву тяжелых металлов (ТМ) с рекомендуемыми дозами органических удобрений заметно не меняет природных уровней их содержания в почвах и не представляет опасности с точки зрения загрязнения [3]. При их интенсивном внесении складывается более напряженный баланс этих элементов в почвах, поскольку они включаются в биохимический круговорот, в ходе которого активно трансформируются и претерпевают ряд изменений, что может привести к деградации и уменьшению устойчивости агроценозов, нанося ущерб сельскохозяйственным угодьям, вызывать снижение урожая и ухудшать его качество [4]. В республике в последние годы исследований по изучению воздействия жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание подвижных форм ТМ в почвах в зависимости от интенсивности их внесения практически не проводилось, что актуализировало необходимость проведения данной работы.

Цель исследований – установить влияние длительных нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах, расположенных вблизи животноводческих комплексов.

**Объекты и методы исследования.** Объект исследования – дерново-подзолистые почвы, подвергающиеся регулярному воздействию жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков. Почвенные образцы отобраны на сельскохозяйственных землях в хозяйствах Дзержинского, Столбцовского и Браславского районов республики при проведении маршрутных обследований. Пробы почв отбирали весной на глубину 0–25 см в 5 разных точках с расстоянием 150–200 м между ними. Образцы без нагрузки органических удобрений и при их внесении отобраны на участках, расположенных в сходных условиях рельефа и в пределах той же почвенной разности.

Для экстракции подвижных форм ТМ из почв использовали ацетатно-аммонийный буфер (рН 4,8). Выбор экстрагента обусловлен тем, что он позволяет оценить не только количество доступных для растений тяжелых металлов, но и экологическое состояние почв, поскольку в республике на его основе регламентируется допустимый уровень ПДК. Содержание подвиж-

ных форм ТМ определяли на атомно-абсорбционном спектрометре ICE 3000 Series. Классификацию дерново-подзолистых почв по содержанию подвижных форм тяжелых металло-существляли по шкале, предложенной авторами работы [5]. Для количественной характеристики степени загрязнения почв ТМ использовали коэффициент опасности ( $K_o$ ), коэффициент техногенной концентрации элемента ( $K_c$ ) и суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ). Оценку загрязнения почв ТМ осуществляли согласно [6].

**Обсуждение результатов.** Концентрация подвижных форм Со в почвах без нагрузок варьировала в пределах 0,13–0,42 мг/кг, Рb – 0,20–1,12 мг/кг, что характеризовало уровень их обеспеченности этими элементами согласно градации от низкого до среднего (табл. 1).

Подвижных соединений Ni в почвах без нагрузок содержалось 0,11–0,60 мг/кг, что позволило их отнести к категориям от очень низкообеспеченных до средних. Количество подвижных форм Cr было на уровне 0,12–0,70 мг/кг.

Т а б л и ц а 1

**Влияние нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах, мг/кг**

Вид земель	Период внесения, лет	Ежегодная нагрузка ОУ <sup>1</sup> , т/га	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Co	Cr
суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ГП «Путчино» Дзержинский район)										
пахотные	–	без нагрузки	8,09	0,37	1,07	18,6	0,20	0,38	н/о <sup>2</sup>	0,16
	30	500–600	11,9	0,73	2,97	44,3	0,18	0,40	н/о	0,22
суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)										
пахотные	–	без нагрузки	3,58	0,07	1,03	11,6	0,57	0,22	0,15	0,28
	25	900–1000	10,7	0,22	4,90	31,9	0,59	0,26	0,18	0,33
суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)										
пахотные	–	без нагрузки	9,69	0,30	1,45	13,4	0,87	0,35	0,20	0,67
	20	500–600	19,9	0,81	4,45	23,5	0,84	0,35	0,20	0,68
	–	без нагрузки	12,9	0,27	1,68	12,2	0,89	0,28	0,16	0,60
	22	500–600	29,1	0,85	7,23	23,6	0,93	0,29	0,17	0,60
луговые	–	без нагрузки	14,2	0,52	1,62	17,4	0,76	0,60	0,42	0,70
	22	300–400	22,5	0,85	2,22	20,2	0,79	0,60	0,38	0,73
супесчаная почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)										
пахотные	–	без нагрузки	6,41	0,18	1,37	22,5	1,12	0,14	0,13	0,33
	25	100–200	7,24	0,20	1,66	31,0	1,18	0,14	0,13	0,34
супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)										
пахотные	–	без нагрузки	8,87	0,31	0,97	10,9	0,87	0,21	0,17	0,51
	22	700–800	22,8	1,02	6,28	25,7	0,79	0,24	0,18	0,54
супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Вишневецкий-Агро» Столбцовский район)										
пахотные	–	без нагрузки	4,12	0,15	0,91	10,1	0,30	0,11	н/о	0,12
	25	500–600	6,39	0,28	2,59	15,4	0,30	0,12	н/о	0,13
			5,60	0,27	2,34	13,3	0,25	0,12	н/о	0,12
ПДК			–	3	23	60–100 <sup>3</sup>	6	4	5	6

**Примечание.** <sup>1</sup> ОУ – органические удобрения, <sup>2</sup> н/о – ниже предела обнаружения, <sup>3</sup> ПДК Мп – утверждены для дерново-подзолистых почв с учетом уровня реакции среды.

Ежегодное внесение жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков в дозах от 100–200 до 500–600 т/га в течение 20–30 лет практически не оказало влияния на содержание подвижных соединений Рb, Ni, Cr и Со по сравнению с почвами без нагрузок. Наблюдаемые различия не превышали 9%, что обусловлено невысоким их содержанием в органических удобрениях. Анализ органических удобрений, отобранных в период проведения исследований, показал, что в зависимости от их вида и дозы внесения ежегодно на 1 гектар почв поступало всего 11–200 г Рb, 111–737 г Ni, 20–124 г Со, 70–985 г Cr.

Дополнительный прирост по Ni, Со и Cr (18–20%) обеспечила лишь ежегодная нагрузка жидкого навоза КРС из расчета 900–1000 т/га на пахотные земли в ОАО «АгроВидзы». Увеличение отмечено также в ГП «Путчино» только по хрому (на 38%) после 30-летнего внесе-

ния жидкого навоза КРС в дозе 500–600 т/га и в ОАО «Маяк Браславский» по Ni (на 14%) на фоне воздействия свиных навозных стоков в дозе 700–800 т/га в течение 22 лет.

При этом во всех хозяйствах на фоне систематических нагрузок жидких органических удобрений в течение длительного времени наблюдался прирост в содержании подвижных форм Mn, Fe, Cu и Zn в дерново-подзолистых почвах по сравнению с почвами без нагрузок. В ОАО «АгроВидзы» при дозе жидкого навоза КРС 100–200 т/га количество Fe в супесчаной почве увеличилось на 13%, Mn – на 38%, Cu – на 11%, Zn – на 21%; в ОАО «Маяк Браславский» при нагрузке свиных навозных стоков 300–400 т/га на суглинистую почву – на 58%, 16, 63 и 37% соответственно. При нагрузках жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на почвы от 500–600 до 900–1000 т/га в обследуемых хозяйствах прирост в содержании подвижных форм Fe составил 1,48–16,2 мг/кг (36–199%), Mn – 2,2–25,7 мг/кг (32–175%), Cu – 0,12–0,71 мг/кг (80–229%). Наибольшая прибавка из всех изучаемых ТМ отмечена для Zn (157–547%) при максимальном показателе в супесчаной почве на фоне нагрузки свиных навозных стоков 700–800 т/га в течение 22 лет. Различия в накоплении подвижных форм ТМ в исследуемых почвах, возможно, связаны не только с их физико-химическими свойствами, условиями увлажнения и другими особенностями, но обусловлены также разным содержанием элементов в используемых удобрениях. Согласно расчетам, ежегодно на 1 гектар почв со свиными навозными стоками при внесении 700–800 т/га поступало около 17 кг Zn, с жидким навозом КРС при дозе 900–1000 т/га – всего 6 кг.

Согласно классификации почв по содержанию подвижных форм тяжелых металлов, дерново-подзолистые почвы без нагрузок очень низко- и низкообеспечены Cu и Zn. По истечении 20–30 лет регулярных нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков от 500–600 до 900–1000 т/га обеспеченность почв Cu оценивалась от низкой до средней, Zn – от средней до высокой. В целом, исходя из предлагаемой градации, почвы вблизи животноводческих комплексов по содержанию подвижных форм ТМ пока не загрязнены ими. Тем не менее, например, после 22 лет внесения свиных навозных стоков в дозе 700–800 т/га в ОАО «Маяк Браславский» супесчаная почва из разряда очень низкой по обеспеченности Zn перешла в разряд высокой, что свидетельствует о возможных негативных последствиях при более длительном воздействии сверхвысоких доз этих удобрений, в частности, избыточном накоплении Zn в пахотном слое.

Сопоставление данных по доле подвижных форм тяжелых металлов в их валовом содержании показало, что только для Fe, Cu, Zn и Mn наблюдалось увеличение этого показателя под воздействием ежегодных нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на протяжении 20–30 лет. Наибольший прирост отмечен для Zn и Fe при нагрузках органических удобрений от 500–600 до 900–1000 т/га: доля их подвижных форм в почвах составила 7–31% и 0,1–0,8%, что выше по сравнению с почвами без нагрузок в 1,6–3,0 и 1,4–2,8 раза. На втором месте находятся Cu и Mn, доля подвижных форм которых была на уровне 5–16% и 6–19% от валового содержания, что превышало показатели почв без нагрузок в 1,5–2,2 и 1,4–2,1 раза соответственно. Наиболее низкие показатели по этим элементам получены для супесчаной почвы в ОАО «АгроВидзы» при дозе применения свиных навозных стоков 100–200 т/га: увеличение в среднем составило всего 1,2 раза по сравнению с почвой без нагрузок.

На основании выполненной работы определено, что содержание подвижных форм ТМ в дерново-подзолистых почвах вблизи животноводческих комплексов значительно ниже ПДК. Рассчитанные  $K_d$  меньше единицы, что свидетельствовало об отсутствии на данном этапе опасности накопления в изучаемых почвах подвижных соединений ТМ выше уровня ПДК, несмотря на внесение в некоторых хозяйствах довольно высоких доз жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков в течение длительного периода. При нагрузках этих удобрений от 500–600 до 900–1000 т/га содержание подвижных форм Ni и Co в почвах составляло не более 0,10 ПДК, Cr – 0,11 и Pb – 0,16 ПДК, что на уровне почв, где удобрения не вносили. Количество Cu достигло 0,07–0,34 ПДК, Zn – 0,10–0,31 и Mn – 0,13–0,44 ПДК против 0,02–0,12, 0,04–0,07 и 0,10–0,19 ПДК соответственно в почвах без нагрузок, что указывает на потенци-

альную опасность загрязнения почв, находящихся в зоне влияния животноводческих комплексов этими элементами.

Полученные значения  $K_c$  свидетельствовали о достаточно слабом влиянии ежегодных нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков независимо от доз их внесения на накопление подвижных форм Pb, Ni, Co и Cr (табл. 2).

Таблица 2

**Количественная оценка степени загрязнения дерново-подзолистых почв подвижными формами тяжелых металлов при регулярных нагрузках жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков**

Вид земель	Период внесения, лет	Ежегодная нагрузка ОУ, т/га	$K_c$								$Z_c$
			Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Co	Cr	
<i>суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ГП «Путчино» Дзержинский район)</i>											
пахотные	30	500–600	1,5	2,0	2,8	2,4	0,9	1,1	–	1,4	6,0
<i>суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>											
пахотные	25	900–1000	3,0	3,1	4,8	2,8	1,0	1,2	1,2	1,2	11,2
<i>суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>											
пахотные	20	500–600	2,1	2,7	3,1	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	6,6
			2,3	3,1	4,3	1,9	1,0	1,0	1,1	1,0	8,8
луговые	22	300–400	1,6	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0	0,9	1,0	2,7
<i>супесчаная почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>											
пахотные	25	100–200	1,1	1,1	1,2	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,9
<i>супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>											
пахотные	22	700–800	2,6	3,3	6,5	2,4	0,9	1,1	1,1	1,1	12,0
<i>супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Вишневецкий-Агро» Столбцовский район)</i>											
пахотные	25	500–600	1,6	1,9	2,8	1,5	1,0	1,1	–	1,1	5,0
			1,4	1,8	2,6	1,3	0,8	1,1	–	1,0	4,1

При длительном применении жидкого навоза КРС в дозах 100–200 т/га в ОАО «Агро-Видзы»  $K_c$  Fe и Cu были на уровне 1,1 при несколько более высоких показателях по Zn и Mn, однако в целом величина  $Z_c$  составила всего 1,9 ед. Наибольшая степень загрязнения тяжелыми металлами характерна для дерново-подзолистых почв, подвергающихся воздействию жидких органических удобрений в дозах от 500–600 до 900–1000 т/га:  $K_c$  подвижных форм Cu достиг 1,8–3,3 ед., Zn – 2,6–6,5, Mn – 1,3–2,8 и Fe – 1,4–3,0 ед. при суммарном показателе загрязнения 4,1–12,0 ед. В соответствии с рассчитанными  $K_c$  при воздействии жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков в течение 20–30 лет основными загрязнителями дерново-подзолистых почв в зоне влияния животноводческих комплексов являются Zn, который занимает доминирующее положение, а далее по значимости следуют Cu, Fe и Mn:

$$Zn_{1,2-6,5} > Cu_{1,1-3,3} > Fe_{1,1-3,0} > Mn_{1,2-2,8} > Cr_{1,0-1,4} \approx Ni_{1,0-1,2} \approx Co_{0,9-1,2} \approx Pb_{0,8-1,2}.$$

Согласно экологической оценке по  $Z_c$  дерново-подзолистые почвы в обследуемых хозяйствах характеризовались допустимым уровнем загрязнения подвижными формами ТМ ( $Z_c < 16$ ). Однако наблюдаемые негативные тенденции увеличения данного показателя по мере повышения нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков в дальнейшем при постоянно вносимых высоких дозах могут привести к более значимым изменениям в агроэко-системах.

**Заключение.** Ежегодная утилизация жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков в дозах от 100–200 до 900–1000 т/га в течение 20–30 лет, практически не оказав влияния на содержание Pb, Ni, Co и Cr, увеличила концентрацию подвижных форм Fe в дерново-подзолистых почвах на 13–199%, Cu – на 11–229%, Zn – на 21–547%, Mn – на 16–175% при повышении их долевого участия в валовом содержании в 1,1–3,0 раза.

Оценка агроэкологического состояния дерново-подзолистых почв сельскохозяйственного назначения вблизи животноводческих комплексов свидетельствует об отсутствии их загрязнения тяжелыми металлами: превышения нормативов ПДК не обнаружено,  $K_0$  ниже единицы. Согласно  $K_c$  основными поллютантами почв при нагрузках жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков от 500–600 до 900–1000 т/га являются Zn, Cu, Fe и Mn при слабом накопле-

нии Pb, Ni, Co и Cr. По суммарному показателю загрязнения почвы являются условно чистыми с наиболее высокими значениями ( $Z_c$  11,2–12,0 ед.) при дозах 700–800 и 900–1000 т/га. Однако наблюдаемый негативный эффект увеличения  $K_c$  и  $Z_c$  указывает на экологические риски при постоянной утилизации высоких доз этих органических удобрений на ограниченных площадях, что в дальнейшем может привести к более значимому повышению содержания ТМ в почвах, увеличивая вероятность загрязнения ими сельскохозяйственной продукции.

### Литература

1. Сравнительная эффективность органических и минеральных удобрений при возделывании кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве / Т. М. Серая [и др.] // Почвоведение и агрохимия. 2011. № 2 (47). С. 70–77.
2. Семененко С.Я., Агеенко О.М. Влияние орошения животноводческими стоками на урожай зеленой массы кукурузы // Плодородие. 2017. № 1. С. 46–48.
3. Лукин С.В., Селюкова С.В. Агроэкологическая оценка влияния органических удобрений на микроэлементный состав почв // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30, № 12. С. 61–65.
4. Гейгер Е. Ю. Действие жидкого свиного навоза на продуктивность агрофитоценоза и состояние экосистемы в зоне влияния крупного свиного комплекса: дис. ... канд. с.-х. наук. Н. Новгород, 2003. 212 с.
5. Методы исследования городских почв: учеб.пособие для студентов, обучающихся по специальности 11.01.01 – агрохимия и агропочвоведение, экология / Р. Ф. Байбеков [и др.]. М.: ФГОУ ВПО РГАУ – МСХА им. Тимирязева, 2007. 202 с.
6. Гигиеническая оценка почвы населенных мест : Инструкция 2.1.7.11–12–5–2004 : сб. нормативных документов по гигиенической оценке почв населенных мест. Минск: Минздрав Респ. Беларусь, 2004. С. 3–38.

### THE CONTENT OF MOBILE FORMS OF HEAVY METALS IN SOD-PODZOLIC SOILS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF LIVESTOCK COMPLEXES

E.N. Bogatyrova, T.M. Seraya

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Minsk, Belarus, elena\_trokai68@mail.ru

**Summary.** *The data on the effect of liquid manure of cattle and pig manure runoff on the content of mobile forms of heavy metals in sod-podzolic soils are presented: with annual application in doses from 100–200 to 900–1000 t/ha for 20–30 years, the content of Fe increased by 13–199%, Cu – 11–229%, Zn – 21–547%, Mn – 16–175%. No exceedance of maximum permissible concentrations (MPCs) in soils was found, the observed negative trends in the increase of  $K_c$  and  $Z_c$  indicate environmental risks with the constant utilization of high doses of these organic fertilizers in a limited area.*

**Keywords:** *sod-podzolic soils, liquid manure of cattle, pig manure runoff, mobile forms of heavy metals.*

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ РЕКИ ПЫШМА

А.В. Букин

Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, 777bukin777@rambler.ru

*Аннотация.* Изучены подвижные формы распределения соединений химических элементов (Zn, Cu, Mn, Co, Pb, Cd) в аллювиальных почвах р. Пышма Тюменского района. Показаны особенности аккумуляции и миграции элементов в различных типах аллювиальных почв.

**Ключевые слова:** почва, химические элементы, пойма, миграция, аккумуляция, профильное распределение, подвижные формы.

Изучены подвижные формы и особенности распределения соединений химических элементов (Zn, Cu, Mn, Co, Pb, Cd, Sr) в аллювиальных почвах р. Пышма.

В настоящее время в биосферу поступает большое количество химических элементов техногенного происхождения, значительная часть которых аккумулируется в почве [2, 4, 7]. Для прогноза экологической опасности загрязнения почв необходимо знать не только масштабы их поступления, но и закономерности их поведения в различных почвенно-геохимических условиях.

Кроме того, актуальность этих исследований связана с производством сельскохозяйственной продукции на пойменных почвах. Пойменные почвы обладают благоприятными свойствами для выращивания овощных культур и составляют основу лучших природных кормовых угодий для животноводства на данной территории. Вместе с тем, аллювиальные почвы требуют к себе особо бережного отношения и квалифицированного использования.

Для практических целей сведений о валовом содержании исследуемых элементов в почве недостаточно. Чтобы выявить потребность в микроудобрениях и их эффективность, оценить процессы накопления и миграции химических элементов, необходимо определение содержания их подвижных форм. Именно фоновое содержание подвижных форм служит точкой отсчета степени накопления в почве элементов, представляющих опасность для живых существ [6].

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования являются почвы поймы р. Пышма Тюменского района Тюменской области. Для анализа были отобраны образцы по обоим берегам реки. На правобережной пойме исследовали: аллювиальную дерновую, глинистую на русловом аллювии почву (разр. 1, прирусловая часть); аллювиальную дерновую глинистую (разр. 2, центральная часть) и аллювиальную дерново-глеевую (разр. 3, притеррасная часть). На левом берегу изучали аллювиальную дерновую на погребенной почве, среднеглинистую почву (разр. 4, прирусловая часть), аллювиальную дерновую, тяжелосуглинистую (разр. 5, притеррасная часть).

Почвы прирусловой и центральной части поймы правого берега по гранулометрическому составу имеют тяжелоглинистый гранулометрический состав с содержанием физической глины (от 89,2 до 97,8%) с преобладанием фракций пыли и ила. В притеррасной части поймы почву можно отнести к среднеглинистой с ярко выраженным оглеением в верхней части профиля. Почвы левого берега реки носят характер иловато-пылеватых глин.

Исследование физико-химических свойств почв проводилось по общепринятым методикам [1], гранулометрический состав определяли по методу Качинского.

Определение содержания Zn, Cu, Mn, Co, Pb, Cd в почве и илистой фракции, а также различных форм элементов (ацетатно-аммонийный буфер с рН 4,8) проводилось атомно-абсорбционным методом.

**Результаты и их обсуждение.** Известно, что формирование профиля аллювиальных почв протекает в сложной биогеохимической обстановке. Неодинаковая длительность поемного процесса, особенности видового состава растительного покрова, разнокачественность гранулометрического и минералогического состава, физико-химических свойств аллювиальных

наносов в различных частях поймы обуславливают специфику распределения химических элементов в почвенном профиле.

Результаты наших исследований показывают, что исследованные почвы типичны для пойм средних рек Северного Зауралья. Они характеризуются близкой к нейтральной и нейтральной реакцией ( $pH_{kcl}$  5,8-6,5). Содержание гумуса в верхних горизонтах колеблется от 2,5 до 5,5 %, а в нижних 0,4-1,5 %. Сумма поглощенных оснований изменяется в пределах от 18,5 до 56,3 мг. экв/100 г почвы.

В табл. 1 представлены данные о содержании химических элементов в изученных почвах.

Содержание исследуемых элементов в изученных почвах не превышает предельно допустимых концентраций (ПДК).

**Содержание подвижных форм химических элементов в пойменных почвах р. Пышма, мг/кг**

Часть поймы, тип почвы	Генетические горизонты	Слои, см.	Zn	Co	Mn	Cu	Pb	Cd
Прирусловая, аллювиальная дерновая, глинистая, мощная (разр. 1)	A <sub>0</sub> -A <sub>1</sub>	10-20	1,74	0,12	36,06	0,25	0,61	0,15
	A <sub>1</sub>	40-50	7,80	0,13	2,53	0,21	0,97	0,11
	AB <sub>1</sub>	60-70	2,16	0,09	8,90	0,23	0,71	0,09
	B <sub>1</sub>	80-90	0,81	0,11	0,29	0,38	0,85	0,06
	B <sub>2</sub>	110-120	1,01	0,12	22,45	0,80	1,33	0,07
Центральная, Аллювиальная дерновая, глинистая (разр.2)	A <sub>0</sub> - A <sub>1</sub>	9-19	1,60	0,09	21,64	0,22	0,29	0,16
	A <sub>1</sub>	33-43	1,27	0,12	0,03	0,18	0,65	0,05
	B <sub>1</sub>	60-70	1,02	0,13	0,60	0,62	0,79	0,14
	B <sub>2</sub>	130-140	0,86	0,17	0,01	0,76	0,82	0,23
Притеррасная, аллювиальная дерновая, глеевая (разр. 3)	A <sub>0</sub> - A <sub>1</sub>	4-9	5,92	0,74	105,62	0,63	2,03	0,35
	A <sub>1</sub>	15-25	1,42	0,12	18,27	0,21	0,35	0,16
	AB <sub>1</sub>	40-50	0,59	0,13	3,67	0,31	0,68	0,19
	B <sub>1</sub>	60-70	0,53	0,15	0,11	0,80	0,73	0,11
	B <sub>2</sub>	100-110	0,73	0,08	4,14	0,79	0,82	0,18
Прирусловая, аллювиальная дерновая, среднеглинистая (разр. 4)	A <sub>0</sub>	3-11	4,72	0,34	132,68	0,83	0,64	0,42
	A <sub>1</sub> '	20-30	2,88	0,11	67,44	0,58	0,74	0,17
	A <sub>1</sub>	60-70	0,89	0,10	12,06	0,53	0,21	0,14
	B <sub>1</sub>	90-100	0,54	0,17	3,80	0,42	0,19	0,09
	BC	150-160	1,14	0,10	1,19	0,40	0,06	0,17
Притеррасная, аллювиальная дерновая, тяжелосуглинистая (разр. 5)	A <sub>0</sub>	8-18	2,29	0,10	27,78	0,22	0,38	0,23
	A <sub>1</sub>	25-35	1,11	0,14	21,17	0,28	0,43	0,27
	B <sub>1</sub>	45-55	1,31	0,27	10,85	0,45	0,50	0,27
	B <sub>2</sub> '	70-80	1,64	0,13	10,67	0,28	0,49	0,12
	B <sub>2</sub>	100-110	1,38	0,15	0,80	0,22	0,32	0,10
	C	150-160	2,17	0,18	0,04	0,25	0,24	0,13
ПДК			23,0	5,0	140,0	3,0	6,0	1,0

В ряду исследуемых аллювиальных почв повышенный фон металлов свойственен тяжелым по гранулометрическому составу хорошо гумусированным почвам, пониженное – легким почвам, содержащим небольшое количество гумуса.

Максимальное количество цинка обнаружено в аллювиальной дерновой, глинистой и аллювиальной дерновой, среднеглинистой на погребенной почве в прирусловых частях поймы левого и правого берега реки, а наименьшее – в аллювиальной дерновой глинистой в центральной части поймы.

Повышенное содержание меди выявлено на левом берегу прирусловой части в аллювиальной дерновой среднесуглинистой почве.

Основное количество цинка и меди содержится в верхней части почвенного профиля, т.к. они имеют, в основном, биогенно-аккумулятивный характер распределения.

Как показали результаты исследований, перераспределение элементов в профиле аллювиальных почв находится под влиянием дернового и поемного процессов. Так, для аллювиальной дерновой, глинистой на русловом аллювии и аллювиальной дерновой, среднеглинистой



на погребенной почве, где дерновый процесс выражен слабо, а поемный процесс характеризуется отложением грубого аллювия, накопление цинка отмечается в погребенном гумусовом горизонте и в слое 120–160 см. В этих почвах наблюдается уменьшение содержания цинка в горизонтах нижней части профиля, имеющих песчаный и супесчаный гранулометрический состав.

Для аллювиальной дерновой, глинистой почвы, занимающей центральную часть поймы, характерна другая картина распределения цинка по почвенному профилю. В гумусово-аккумулятивном горизонте данной почвы наблюдается равномерное распределение содержания цинка, в нижних горизонтах отмечается незначительное его уменьшение. Содержание меди в данной почве наоборот увеличивается с глубиной

Для аллювиальной дерновой глеевой почвы характерно, напротив, уменьшение содержания цинка с глубиной и накопление меди в нижней части профиля.

Цинк распределяется монотонно во всех почвах геоморфологического профиля. В наибольшей мере профильная дифференциация характерна для меди и марганца, в меньшей степени – для цинка. Для марганца свойственно высокое содержание всех выделенных форм в гумусово-аккумулятивном горизонте.

Выявлена тесная положительная корреляционная связь между содержанием меди и рН в аллювиальной дерновой почве в прирусловой части поймы правого берега ( $r=+0,97$ ) и отрицательная между этой формой элемента и гумусом ( $r=-0,82$ ).

Установлена положительная корреляционная связь ( $r=+0,97$ ) между содержанием меди и гумусом (аллювиальная дерновая на погребенной почве, среднеглинистая).

Прослеживается отрицательная корреляция между содержанием подвижной формы меди с органическим веществом во всех остальных типах почв.

Изменение содержания подвижного Со, в отличие от Mn, Cu и Zn, в профиле исследуемых почв выражено слабо, что связано в основном с особенностями гранулометрического состава почв. Наиболее обеднены кобальтом аллювиальная дерновая, мощная, глинистая на русловом аллювии и аллювиальная дерновая глинистая почвы, расположенные в прирусловой и центральной частях поймы.

Обнаруживается тенденция к накоплению кобальта в аллювиальном горизонте. Содержание кобальта очень слабо коррелирует с количеством физической глины ( $r=+0,28$ ) и достаточно с хорошо содержанием его в иловатых частицах ( $r=+0,65$ ). Между содержанием подвижного кобальта и количеством гумуса в изученных аллювиальных почвах связь относительно слабая ( $r=+0,46$ ).

Во всех типах исследуемых аллювиальных почв содержание подвижного кобальта низкое по всему профилю почвы. Вероятно, гуминовые кислоты этих почв обладают высокой подвижностью, в связи, с чем органическое вещество не в состоянии связывать и удерживать значительное количество элемента [7].

Концентрация подвижного свинца по почвенному профилю неоднородна. Это связано, прежде всего, с процессом миграции. На него непосредственное действие оказывает вода, с движением которой происходит вынос элемента из одних горизонтов в другие. Наибольшая концентрация этого элемента находится в аллювиальной дерновой, глеевой почве в слое 4–9 см (2,03 мг/кг). В этой почве отмечена связь между содержанием свинца и гумуса ( $r=+0,52$ ).

Более прочно, чем свинец, закрепляется в верхних почвенных горизонтах кадмий, содержание которого составляет 0,15–0,42 мг/кг. Наблюдается во всех частях поймы аккумуляция кадмия в гумусовом горизонте. Более слабая аккумуляция этого элемента с глубиной, связана с меньшей прочностью комплексных соединений кадмия с гумусовыми веществами почв в восстановительных условиях [8].

Почвы центральной части поймы, формирующиеся в условиях интенсивного развития дернового процесса (аллювиальная дерновая, глинистая), характеризуются биогенной аккумуляцией кадмия. В профильном распределении кадмия, в отличие от меди и свинца, не проявляется тенденция высокой аккумуляции элемента в слоях почвы с высоким содержанием кальция, что, видимо, связано с конкурирующим влиянием [3]. В аллювиальной дерновой,

глеевой почве наблюдается гидрогенная аккумуляция, обусловленная высоким залеганием грунтовых и застоем паводковых вод в межгрядных понижениях притеррасной поймы.

#### **Выводы.**

1. Содержание подвижных форм Zn, Cu, Mn, Co, Pb, Cd в аллювиальных почвах реки Пышма не превышает ПДК и представлено следующими величинами: Mn от 0,04 до 132,68 мг/кг; Zn от 0,53 до 7,80 мг/кг; Cu от 0,18 до 0,83 мг/кг; Co от 0,08 до 0,74 мг/кг; Pb от 0,06 до 2,03 мг/кг; Cd от 0,05 до 0,42 мг/кг.

2. В почвах прирусловой и центральной частей поймы для всех изученных элементов характерен биогенно-аккумулятивный тип распределения. В аллювиальной дерновой глеевой почве относящейся к притеррасной части поймы р. Пышма, элементы распределяются по гидрогенно-аккумулятивному типу.

3. По увеличению накопления в гумусово-аккумулятивном горизонте аллювиальных почв р. Пышма элементы образуют ряд  $Zn > Cu > Co > Pb$ .

#### **Литература**

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
3. Горбхнов Н.И. Минералогия и физическая химия почв. М.: Наука. 1978. 293 с.
4. Изерская Л.А., Воробьева Т. Е. Формы соединений тяжелых металлов в аллювиальных почвах средней Оби // Почвоведение. 2000. С. 56–62.
5. Перельман А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972. 288 с.
6. Смирнова Е.В., Мотузова Г.В. Оценка состояния Cu, Zn и Mn в почвах Сихоте-Алинского заповедника в целях фонового мониторинга // Вестн. МГУ. Почвовед. 1985. № 4. С. 49–56.
7. Степанова М.Д. Микроэлементы в органическом веществе почв (черноземов и дерново-подзолистых). Новосибирск: Наука, 1976. 106 с.
8. Sapek A., Sapek B. Cadmium in the profile of organic soils // Trans. 13-th Congr. Inf. Soc. Soil. Sci. Hamburg, 13-20 Aug., 1986. V. 2. S. I. S. 461–462.

#### **THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE ALLUVIAL SOILS OF THE RIVER PYSHMA**

A.V. Bukin

State agrarian University of the Northern Urals, Tyumen, 777bukin777@rambler.ru

**Summary.** *Mobile forms of distribution of chemical elements compounds (Zn, Cu, Mn, Co, Pb, Cd) in alluvial soils of Pyshma river in Tyumen region are studied. Features of accumulation and migration of elements in different types of alluvial soils are shown.*

**Keywords:** *soil, chemical elements, floodplain, migration, accumulation, profile distribution, mobile forms.*

## ПРИЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕЛИОРАНТОВ В АГРОЦЕНОЗЕ

С.Е. Витковская<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, s.vitkovskaya@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрено понятие экологической безопасности веществ, применяемых для повышения плодородия почв, возможное их негативное влияние на почву и сопредельные среды. Показано, что среди методических подходов, направленных на обеспечение экологической безопасности применения мелиорантов, особого внимания заслуживают нормирование поступления примесных элементов в почву и анализ риска изменения экологического состояния агроэкосистем. Показано, что нормирование поступления химических элементов в почву с удобрениями и мелиорантами возможно в два этапа: 1) установление ПДК примесных элементов в веществе, вносимом в почву; установление лимитирующих показателей, таких как доза и периодичность внесения вещества. Представлена структура оценки риска загрязнения агроэкосистем тяжелыми металлами.

**Ключевые слова:** агроценоз, химические мелиоранты, экологическая безопасность, тяжелые металлы, нормирование, анализ риска.

Химическая мелиорация представляет собой широкий спектр мероприятий, направленных на улучшение химических, физических и агрохимических свойств почв (регулирование кислотности, щелочности, обогащение питательными элементами, улучшение структуры почв; включает известкование кислых почв, фосфоритование почв, гипсование солонцов и солонцеватых почв, кислование содовых солончаков и др.). Мелиоративным является любой прием, направленный на улучшение условий роста и развития растений в агроценозе. Для Нечерноземной зоны основными приемами химической мелиорации почв являются внесение минеральных удобрений и известкование [1].

Ориентированность сельскохозяйственного производства на получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур сопровождается возрастанием уровня антропогенного воздействия на агроэкосистемы. Обеспечение экологической безопасности является одной из важнейшей задач для сельскохозяйственного производства. Наряду с использованием новых разработок в семеноводстве, агротехнике и системе земледелия для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, будут возрастать дозы вносимых агрохимикатов. Этот процесс повлечет за собой увеличение концентраций примесных элементов, пестицидов и нитратного азота в системе почва-растение, усиление воздействия на сопредельные с почвой среды [2].

Применяемые в сельскохозяйственном производстве средства химизации воздействуют на все компоненты агроэкосистемы, изменяя качественные и количественные характеристики системы почва-растение и контактирующих с почвой сред. Негативное влияние вносимых в почву мелиорантов может проявляться в следующем [1]:

1) Нерациональное применение удобрений может оказать негативное влияние на баланс содержания элементов минерального питания растений в почве и параметры плодородия почвы.

2) Нарушение технологий применения удобрений, несоответствие вносимых в почву веществ санитарным нормам, могут приводить к снижению урожайности сельскохозяйственных культур и качества продукции.

3) Применение повышенных доз минеральных и органических удобрений приводит к возрастанию потока биогенных элементов в системах почва – растения и почва – водная среда. Следствием миграции азота и фосфора поступающего в почву в составе органических и минеральных удобрений является загрязнение грунтовых вод и эвтрофикация водоемов. Из общего количества внесенного в почву азота, сельскохозяйственными растениями усваивается около 40%.

4) Производство и применение азотных удобрений является одним из антропогенных источников поступления соединений азота в атмосферный воздух. Следствия поступления  $N_2$ ,  $N_2O$ ,  $HNO_3$  в атмосферу – парниковый эффект и кислотные осадения.

5) Повышенное содержание нитратов и нитритов в продуктах питания оказывает токсическое действие на организм человека.

6) Минеральные, органические удобрения и мелиоранты являются одним из источников поступления в почву химических элементов, негативно влияющих на качество агроэкосистем. Этот экологический аспект применения средств химизации заслуживает особого внимания.

Информация о влиянии средств химизации на содержание ТМ в почвах весьма противоречива, что закономерно, так как накопление химических элементов в почвах существенно зависит от почвенно-климатических условий и химического состава вносимых веществ. Поскольку самоочищение почв от ТМ и металлоидов – процесс крайне медленный, важной задачей является контроль скоростей изменения содержания примесных элементов в почве и принятие мер по предотвращению их накопления до опасных уровней концентрации. Эта задача может быть решена в процессе проведения мониторинга экологического состояния земель сельскохозяйственного назначения, результат которого должен быть представлен в виде долгосрочного прогноза экологического состояния агроземов, продуктивности агроэкосистем и качества получаемой продукции. Процедура прогноза экологического состояния агроэкосистем должна предусматривать анализ риска [3].

Среди методических подходов к обеспечению экологической безопасности применения мелиорантов, особого внимания заслуживают: 1) нормирование поступления примесных элементов в почву с мелиорантами; 2) анализ риска изменения экологического состояния агроэкосистем.

Нормирование поступления химических элементов в почву с удобрениями и мелиорантами возможно в два этапа [4, 5]:

1) установление ПДК примесных элементов в веществе, вносимом в почву;

2) установление лимитирующих показателей, таких как доза и периодичность внесения вещества.

Применение удобрений и мелиорантов, содержание токсичных химических элементов в которых превышает установленные для почв гигиенические нормативы, возможно только при условии жесткого нормирования доз и периодичности их внесения. Поступление примесных элементов в агроэкосистемы при интенсивном использовании средств химизации должно регламентироваться следующими параметрами [5]:

1) концентрация примесного элемента в удобрении, мг/кг;

2) концентрация примесного элемента в почве, мг/кг;

3) буферная способность почвы (гранулометрический состав, рН и содержание гумуса);

4) доза внесения удобрения, т/га или кг/га;

5) периодичность внесения удобрений, годы;

6) скорость перехода элемента в системе удобрение – почвенный раствор;

7) коэффициенты накопления элемента растениями;

8) скорость самоочищения почвы (константы выноса растениями и водами).

Одним из основных параметров, который необходимо учитывать при определении ориентировочных периодов очищения почвы от примесных элементов, поступивших с органическими удобрениями и химическими мелиорантами, является скорость высвобождения химических элементов в процессе трансформации веществ, внесенных в почву. При этом необходимо также оценивать скорости распределения химических элементов по структурным компонентам системы почва – почвенный раствор – поверхностные и грунтовые воды-растения.

Экологическая безопасность химических мелиорантов может быть оценена также на основе результатов анализа риска их влияния на структурные компоненты агроэкосистемы и здоровье человека.

Методология анализа риска включает 2 блока: оценку и/или анализ риска и управление риском. Задача 1-го блока – идентификация опасностей, оценка воздействия и его последствий, характеристика риска. Задача 2-го блока – разработка рекомендаций по снижению и контролю риска [6].

В процессе функционирования агроэкосистем происходит закономерное изменение качественного состава агроземов, продукции растениеводства и животноводства. В зависимости от направленности воздействия, изменения могут носить как позитивный, так и негативный характер. Вероятность негативных изменений, в частности загрязнения агроземов и сельскохозяйственной продукции примесными элементами (тяжелыми металлами и металлоидами), возрастает в процессе интенсификации сельскохозяйственного производства (прежде всего, увеличения доз и ассортимента агрохимикатов, с которыми в почву поступают примесные элементы) [3].

Структура анализа риска изменения экологического состояния агроэкосистем представлена в работах [3,7]. Под агроэкологическим риском следует понимать вероятность негативных изменений в агросфере под воздействием антропогенных или природных факторов и ожидаемую величину ущерба. В данном случае под антропогенным воздействием понимается весь комплекс мероприятий, применяемых при создании и поддержании агроэкосистемы (обработка почвы, применение агрохимикатов, осушение, орошение и др.), а также атмосферные выпадения, которые могут привести к подкислению и загрязнению почвы радионуклидами и тяжелыми металлами. При этом может оцениваться вероятность развития почворазрушающих процессов, загрязнения агроземов, урожая сельскохозяйственных культур и водоемов экотоксикантами и т.д. Ущерб от ухудшения экологического состояния агроэкосистем можно оценить по недополученной прибыли вследствие деградации агресурсов. Он может быть также связан с сокращением продолжительности жизни людей вследствие употребления загрязненных продуктов питания и затратами на лечение и социальные выплаты [7].

Основными составляющими структуры оценки риска загрязнения агроэкосистем являются [1]:

- 1) оценка текущего экологического состояния агроэкосистемы;
- 2) оценка степени изменения экологического состояния почвы за период освоения и эксплуатации агроэкосистемы;
- 3) прогноз экологического состояния агроэкосистемы с учетом интенсификации сельскохозяйственного производства;
- 4) оценка риска здоровью, связанного с возможным изменением качества сельскохозяйственной продукции;
- 5) прогноз изменения уровня воздействия агроэкосистемы на сопредельные среды.

Для оценки риска возрастания концентраций ТМ и металлоидов в агроземах необходимо установить:

- 1) содержание ТМ в агроземе на текущий момент времени;
- 2) содержание ТМ в нативной почве прилегающих массивов (принимается как фоновая концентрация);
- 3) длительность использования данной почвы в сельскохозяйственном производстве, лет.

Зная эти параметры, можно рассчитать примерную скорость накопления тестируемых химических элементов в почве (мг/кг/год). При этом концентрация элемента в нативной почве принимается за начальную концентрацию ( $C_0$ ), а концентрация элемента на текущий момент – за максимальную концентрацию. Для расчета может быть использована линейная модель. Эта задача существенно облегчается, если имеются результаты промежуточных агрохимических обследований. Для более точной интерпретации полученных результатов желательно знать, какие удобрения и в каких дозах вносили. Эта информация необходима, с одной стороны, для количественной оценки возможного поступления ТМ с удобрениями, с другой – для количественной оценки выноса их из почвы растениями и водами за рассматриваемый период. На основании полученных результатов анализа данных можно прогнозировать дальнейшее изменение концентраций примесных элементов в почве при различных уровнях химизации.

## Литература

1. Витковская С.Е. Методы оценки эффективности и экологической безопасности химических мелиорантов. СПб.: АФИ, 2017. 67 с.
2. Витковская С.Е., Хофман О.В. Оценка экологического состояния агроэкосистем (на примере полевого опыта) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 3. 2013. Вып. 1. С. 103–113.
3. Витковская С.Е. Оценка риска загрязнения агроэкосистем тяжелыми металлами // Агрохимия. 2013. № 11. С. 87–94.
4. Витковская С.Е. Агроэкологические основы использования биотермически переработанных твердых бытовых отходов для повышения плодородия кислых почв: дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2006. 249 с.
5. Витковская С.Е. Твердые бытовые отходы: антропогенное звено биологического круговорота. СПб.: АФИ, 2012. 130 с.
6. Быков А.А., Порфирьев Б.Н. Об анализе риска, концепциях и классификациях рисков // Проблемы анализа риска. 2006. Т. 3, № 4. С. 319–337.
7. Витковская С.Е., Хофман О.В. Риск здоровью как составляющая агроэкологического риска /Материалы Всероссийской научной конференции «Методы оценки сельскохозяйственных рисков и технологии смягчения последствий изменения климата в земледелии», Санкт-Петербург, 13–14 октября 2011 г. СПб., 2011. С. 141–144.

## ENVIRONMENTAL SAFETY RECOVERY APPLICATIONS OF MELIORANTS IN AGROECOSYSTEMS

S.E. Vitkovskaya<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

<sup>2</sup> Agrophysics Research Institute, Saint-Petersburg, s.vitkovskaya@mail.ru

**Summary.** *The concept of ecological safety of substances used to increase soil fertility, their possible negative impact on soil and adjacent environments is considered. It is shown that among the methodological approaches aimed at ensuring environmental safety of meliorants, special attention should be paid to the normalization of the entry of impurity elements into the soil and the analysis of the risk of changing the ecological state of agroecosystems. It is shown that the normalization of the entry of chemical elements into the soil with fertilizers and meliorants is possible in two stages: 1) establishment of MPC of impurity elements in the substance introduced into the soil; the establishment of limiting indicators, such as the dose and frequency of the introduction of a substance. The structure of the risk assessment of pollution of agroecosystems with heavy metals is presented.*

**Key words:** *agrocenosis, chemical meliorants, ecological safety, heavy metals, rationing, risk analysis.*

## ПОТЕРИ МАССЫ СФАГНОВЫХ МХОВ ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ НА БОЛОТАХ ЛЕСОСТЕПИ

Е.К. Вишнякова, Н.П. Миронычева-Токарева, Н.П. Косых

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, nina@issa.nsc.ru

**Аннотация.** Получены новые количественные данные потерь при разложении очеса разных видов сфагновых мхов в болотах лесостепной зоны Западной Сибири. В зависимости от вида потери в первый год составляют 10–40%, во второй год до 80%.

**Ключевые слова:** разложение, потери, очес, сфагновые мхи, лесостепь.

Болота составляют значительную часть юга Западной Сибири. В болотах основным резервуаром с длительным временем пребывания углерода является торф. Накопление углерода в торфе показывает направление процесса в масштабах многих сотен и тысяч лет. Вместе с тем именно этот резервуар подвержен быстрому разрушению в результате антропогенного воздействия. Определение скорости деструкции растительного вещества в торфяных болотах является важным звеном биологического круговорота. Несмотря на широкое распространение в Западной Сибири торфяных болот фактические данные о скорости деструкции сфагновых мхов в активном корнеобитаемом слое и переход его в массу торфа весьма ограничены, что препятствует установлению их истинной роли в глобальном цикле углерода.

Целью данной работы является выявление скорости потерь массы при разложении разных видов мха в условиях лесостепи Западной Сибири.

**Объекты и методы.** Объектами изучения потерь массы при разложении очеса являются разные виды мхов: *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr. *S.capillifolium* (Ehrh.) Hedw., *S.angustifolium* (Russ. ex Russ.) C.Jens., *Sphagnum fallax*., которые доминируют на разных элементах рельефа рьяма, расположенного в лесостепной зоне Западной Сибири. Рьямы лесостепи представлены сосново-березово-кустарничково-сфагновыми растительными сообществами. Центры рьямов занимают вторичные озера, вокруг которых располагаются мезотрофные вахтово-осоково-сфагновые топи. Рьямы, как правило, окружены кольцом тростниковых займищ. В древесном ярусе рьямов доминирует *Pinus sylvestris* L. высотой 3–5 м, в подросте присутствует сосна и береза, высотой 0,5–3 м. Расположение деревьев куртинное. Кустарничковый ярус, высотой 50–70 см представлен такими видами, как *Ledum palustre* L. – 40%, *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench – 20%, *Andromeda polifolia* L. – 5%, *Vaccinium vitis-idaea* L. – 10%, *Oxycoccus palustris* Pers. – 3%, *Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr. – 2%. Моховой покров рьяма достигает 100% проективного покрытия. В травостое мезотрофных топей доминируют *Menyanthes trifoliata* L., *Comarum palustre* L., осоки – *Carex rostrata* Stokes, *Carex lasiocarpa* Ehrh., *Carex limosa* L., занимающие около 40% проективного покрытия. Мощность торфяной залежи рьямов лесостепи колеблется в пределах 2–4 м.

Эксперименты по определению скорости разложения растительных остатков доминантных видов мхов в активном слое болот проводились с 2000 по 2007 г. Для определения характера и скорости разложения отдельных видов растений применялся метод закладки растительного вещества в торф [1]. На болоте собирался очес доминантных видов мха. В лабораторных условиях растительное вещество высушивалось в сушильном шкафу при температуре 60°C, затем высушенный очес мхов раскладывался отдельно в нейлоновые мешочки с ячейками размером 0,2 мм весом 2 г. Приготовленный таким образом растительный материал закладывался в верхний активный слой болотной почвы на глубины 5, 15 и 25 см в десятикратной повторности. Вынимали образцы в трехкратной повторности с каждой глубины в течение первого вегетационного периода и затем через год и два года. После выемки образцы высушивали и взвешивали.

**Обсуждение результатов.** Скорость разложения *Sphagnum fuscum* в рьяме резко различается по годам, потери массы в первый год составили 13,5% от исходного веса. Во второй год

скорость разложения возросла в 2,6 раза, на третий- произошло снижение ее до величин потерь в первый год.

Величины деструкции *Sphagnum magellanicum* менялась в разные годы в ряме, возрастают на второй год до 31%, в топи же повторяют картину деструкции *Sphagnum fuscum* – в первый год потери составили 15,5%, во второй – скорость деструкции снизилась в три раза. Потери массы очеса *Sphagnum angustifolium* на грядах имели сходные величины. Примерно третья часть исходной массы его терялась в первый год 10 и до 20% во второй год. Очес *Sphagnum papillosum* в первый год эксперимента потерял 15% от исходного количества, во второй скорость деструкции возросла незначительно. Величины потерь в процессе разложения *Sphagnum fallax* как в ряме так и в топи значительны как в первый, так и во второй год. Они колебались в пределах 37-39%. За два года в ряме разложилось 78% очеса, а в топи 50%.

Сравнительный анализ данных скорости деструкции массы очеса *Sphagnum fuscum* в различных географических зонах и подзонах территории Западно-Сибирской равнины показал, что на буграх плоскобугристых болот лесотундры потери очеса за три года составили 16%, в северной тайге потери варьировали от 12 до 25%. В средней и южной подзонах тайги наблюдался большой разброс полученных экспериментальных данных: от 14 до 80% и от 15 до 60% соответственно. Наиболее активно проходило разложение сфагнового очеса в лесостепном ряме, потери массы очеса за три года равны от 50 до 70%. Сумма потерь всех фракций живого растительного вещества в болотных экосистемах колеблется в пределах 15–27% от величины прироста [2].

**Заключение.** Таким образом потери при разложении *Sphagnum angustifolium* оказались максимальными, медленнее всего разлагался очес мочажинных мхов *S. papillosum* и по устойчивости к разложению сфагновые мхи разделилась на группы: быстро разлагающиеся (потери за два года более 60% – *Sphagnum fallax*), разлагающиеся со средней скоростью (*Sphagnum angustifolium*, *S. magellanicum*) и медленно разлагающиеся (*Sphagnum fuscum* – потери за два года меньше 30%). Разложение сфагнов на юге происходит быстрее, чем на севере Западной Сибири. При этом очес сфагновых мхов разлагается в 1,5–2 раза медленнее, чем листья и подземные органы сосудистых растений.

### Литература

1. Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. Л., 1978. 173 с.
2. Вишнякова Е.К., Миронычева-Токарева Н.П., Косых Н.П. Динамика разложения растений на болотах Васюганья // Вестник ТГПУ. 2012. № 7 (122). С. 87–93.

### SPHAGNUM MOSS DECOMPOSITION IN THE BOG OF THE FOREST-STEPPE

Е.К. Vishnyakova, N.P. Mironycheva-Tokareva, N.P. Kosykh

Institute of soil science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk

**Summary.** *New quantitative data of losses in the decomposition of different types of sphagnum moss in the swamps of the forest-steppe zone of Western Siberia are obtained. Depending on the type of loss in the first year is 10-40%, in the second year up to 80%.*

**Keywords:** *decomposition, loss, sphagnum mosses, forest-steppe.*



## О НЕКОТОРЫХ ФАКТОРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА УЧАСТИЕ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ В ФОРМИРОВАНИИ ТАЁЖНЫХ ПОЧВ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ)

М.Я. Войтехов

Талдомская администрация особо охраняемых природных территорий, Талдом, mihail-voytechov@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрено влияние опада разных типичных растений таёжной зоны (*Pinus sylvestris*, *P. sibirica*, *Picea abies*, *Abies* sp., *Juniperus communis*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Betula* sp., *Sphagnum*) и кислотности подстиляющего минерального грунта на жизнеспособность и на активность в педотурбациях трёх видов дождевых червей (*Dendrobaena octaedra*, *Lumbriscus rubellus* и *Aporrectodea caliginosa*).

**Ключевые слова:** таёжная зона, дождевые черви, кислотность почвы, опад, подстилка, гумус, зоопедотурбации.

Среди основных функций дождевых червей (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*) в почвообразовании – содействие разложению опада и перемешивание органических и минеральных слоёв почвы. В лесах, где население почвы сосредоточено в подстилке, органический материал, попавший на поверхность с опадом, распределяется по профилю почвы иначе, чем там, где беспозвоночные глубоко проникают в минеральные слои [1]. Одним из основных непосредственных источников питания дождевых червей является мицелий почвенных грибов, причём разные виды грибов могут быть съедобны либо несъедобны для червей [2], и активность дождевых червей способна влиять на состав микоценозов [3]. В естественных таёжных ландшафтах повсеместно представлены эпигейные (подстилочные) виды дождевых червей, а представители других экологических групп более распространены в интразональных (пойменных, аграрных) ландшафтах или участках серийных стадий сукцессии [1, 4], либо переходят к эпигейному образу жизни [4], и об их участии в почвообразовательных процессах в таёжных ландшафтах мало данных.

Целью эксперимента было изучение в стандартизированных модельных условиях влияния реакции почвенной среды и состава опада на активность дождевых червей, выявление лимитирующих факторов в таёжной зоне, прежде всего, в мертвопокровных и кустарничковых хвойных насаждениях, и проверка литературных данных полевых исследований (где однородность локальных условий сложно контролировать).

На дно лотков размером 22×12 см был насыпан слой 6–7 см грунта – карбонатная московская морена с глубины ~ 2 м (преобладает суглинок, отсутствуют остатки корней). В одной серии опыта использована естественная морена, рН 6,9–7,0 (здесь и далее измерялся рН почвенной суспензии [5]). Поскольку нейтральная среда мало характерна для таёжной зоны, во второй серии опыта использовали ту же морену, промытую уксусной кислотой в течение 10 дней, затем отмытую в течение 4 дней дождевой водой, при этом реакция среды снизилась до рН 5,1–5,2 (первые порции фильтрата при промывке содержали большое количество коллоидов, однако цвет грунта не изменился, это даёт основание предположить, что результат обработки соответствует элювиальной почве, не достигшей стадии обеднения подзолистой [6]). Использование естественной и модифицированной морены позволило обеспечить однородный гранулометрический состав используемого грунта и избежать неодинаковой реакции червей на возможные его различия. На поверхности грунта в пластиковые кольца-ячейки диаметром 6 см и высотой 4 см, заглублённые в грунт на 4–5 мм, были помещены образцы свежего опада таёжных растений, известных своей устойчивостью к разложению: сосны (*Pinus sylvestris*), кедр (*P. sibirica*), ели (*Picea abies*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), сфагнума (*Sphagnum centrale*), и видов хвойных, об устойчивости которых к разложению мало данных: пихты (*Abies* sp.), можжевельника (*Juniperus communis*). Чтобы исключить возможность различий условий на-

чальных стадий разложения опада, связанных с неконтролируемыми локальными факторами, образцы брали с веток деревьев – пожелтевшую хвою сосны, кедра, пихты, можжевельника, чернеющие листья брусники, легко отделявшиеся от веток хвоинки ели возрастом 5–6 лет, в качестве образцов сфагнома использовали свежие побеги. До закладки в лотки образцы опада хранились в бумажных пакетах при комнатной температуре и высохли до воздушно-сухого состояния. Поскольку мезо- и микрофауна влияют на состав микробоценозов [2], а метод сбора и хранения образцов исключает присутствие в них комплекса почвенной микро- и мезофауны, на поверхность образцов опада, для приближения условий его разложения к естественным, в лотки помещали на 5 дней в сетчатых мешках подстилку сосняка бруснично-зеленомошного. В лотках поддерживалась влажность грунта, близкая к полной капиллярной.

Через 15 дней после закладки в ячейки образцов опада (к этому времени на них появился налет мицелия грибов) в лотки поместили по 12 экземпляров видов червей, типичных для среднетаёжной и северотаёжной подзон Европейской части России – *Dendrobaena octaedra* либо *Lumbriscus rubellus* (соответственно, эпигейный и эпигейно-эндогейный) [1, 4]. Все эксперименты проведены в двух повторностях: по 2 лотка с каждым видом червя на нейтральной или на подкисленной морене (всего 8 лотков).

В лотках с мореной нейтральной реакции среды *L. rubellus* с первых дней опыта зарывались в грунт на глубину до 4 см под ячейками с опадом можжевельника, пихты, ели и брусники (наблюдаемые сквозь стенки лотков ходы червей сохранялись одну-две недели, затем заплывали). Также происходило активное перемещение частиц грунта на поверхность опада – через 2 недели поверхность всех образцов опада покрылась минеральными частицами. На второй-третий месяцы ходы червей наблюдались и под ячейками со сфагнумом. На четвёртый месяц наблюдений заметно снизилась активность червей под ячейками с можжевельником (возможно, это связано с тем, что опад в этих ячейках наиболее заметно разложился), под сфагнумом ходы исчезли. Под ячейками с опадом сосны и кедра роющая активность *L. rubellus* практически отсутствовала (на четвёртый месяц наблюдений в одном из лотков под образцом кедра был отмечен единичный ход на глубине 5–6 мм, возможно, транзитный, поскольку после его заплывания активность червей здесь больше не проявлялась). В одном из лотков произошло размножение червей – в конце опыта был обнаружен экземпляр длиной около 2 см (исходно помещены черви длиной 5–7 см).

В лотках с подкисленной мореной первые 4–5 часов *L. rubellus* беспокойно перемещались по всей поверхности опада и открытого грунта между ячейками, затем стали малоподвижны. Черви, которых снижение подвижности застало на поверхности опада (в наблюдаемых случаях – елового или кедрового), погибали сразу, а прекратившие активность на голой поверхности грунта реагировали сокращениями на прикосновения в течение 25–30 часов. (дополнительный эксперимент в отдельных сосудах с использованием хвои ели и сосны и естественной минеральной подпочвы приблизительно того же гранулометрического состава из ельника чернично-зеленомошного, рН 5,0–5,1, дал те же результаты, следовательно, обработка уксусом морены не явилась фактором, приведшим к гибели червей). Далее в этих же лотках был проведён дополнительный опыт: из ячеек удалили хвою сосны и на её место поместили опад берёзы, а 15 дней спустя в эти ячейки поместили по 8 экземпляров *L. rubellus*. В течение 1 месяца (срок наблюдения) в ячейках с берёзовым опадом по 4–5 червей остались живы (остальные расползлись и также погибли), при этом они не проявляли активности по перемещению минеральных частиц на поверхность берёзового опада.

*D. octaedra* ни в одном варианте не проявляли роющей активности и не перемещали частицы грунта на поверхность опада. На третий-четвёртый месяц эксперимента в варианте с мореной нейтральной реакции среды появились ходы вдоль границы минерального слоя и опада можжевельника, пихты, ели и брусники. Наличие в лотках живых червей контролировали путём нанесения на поверхности грунта между ячейками царапин, которые спустя один или несколько дней оказывались пересечены свежими следами червей.

За время наблюдений (4,5 месяца) в верхнем 1,5 см минеральном слое грунта (ниже слоя перемешанных с грунтом остатков опада) в лотках с естественной мореной с обоими видами

червей под ячейками с опадом кедра, пихты, ели и сосны достоверных изменений кислотности не произошло, под опадом брусники и сфагнома произошло подкисление до рН 6,8, под опадом можжевельника в лотках, в которых находились *D. octaedra*, – до рН 6,8. в лотках с *L. rubellus* – до рН 6,7. Наибольшее подкисление среды под можжевельником соответствует визуально оцениваемому наибольшему, по сравнению с другими видами, разложению опада можжевельника.

Дополнительно была проверена выживаемость *L. rubellus* в слоях F и H подстилок. В отдельные сосуды поверх минеральной подпочвы из-под ельника чернично-зеленомошного (рН 5,0–5,1) помещали слой подстилки 4–4,5 см. Черви выжили 1 месяц наблюдений в черноольхово-берёзово-сосновом торфе с экотона черноольшаника и сфагнового болота (рН 4,8), подстилке ельника низкотравного на неоподзоленной морене (в месте сбора слой подстилки 4,5–5 см, рН 6,3), но погибли в течение 2–3 суток в слоях F и H подстилки ельника мертвопокровно-зеленомошного (парцеллы *Dicranum polysetum* 20–25% площади), растущего на более влажном участке той же морены (в месте сбора слой подстилки 14–15 см, образцы брали с глубины 2–3 и 5–8 см, соответственно, рН 4,8 в обоих слоях). Выживание червей проверяли по окончании срока наблюдений при промывке содержимого опытных сосудов. Гибель червей дополнительно изучена в слое 4–5 мм из горизонтов F и H подстилки ельника мертвопокровно-зеленомошного без подстилающего минерального грунта. Хотя черви не проявляли видимого беспокойства и зарывались под подстилку, в течение первых 20–30 часов они постепенно теряли подвижность (становились «флегматичными», подобно *Aporrectodea caliginosa*), снижалась интенсивность их окраски. Если в первые 30–35 часов их переносили на морену с нейтральной реакцией среды, через несколько часов возвращались их окраска и активность. В более поздние сроки черви, хотя реагировали сокращениями на прикосновения, не возвращались к нормальному состоянию при перемещении в нейтральную среду. Еще один эксперимент показал, что "беспокойная" реакция *L. rubellus* отмечается при помещении их в опад в течение одного месяца после его смачивания и потенциального начала колонизации грибами, а через полтора месяца черви реагируют на переходящий в стадию ферментации еловый опад спокойно.

В тех же образцах F и H подстилки ельника мертвопокровно-зеленомошного эндогеиные черви *Aporrectodea caliginosa* (вид заходит на плакоры юга среднетаёжной подзоны [4]) выживали при температуре 20°C 7–9 дней, затем погибали, видимо, от голода (на 3-й день наблюдений их пищеварительный тракт выглядел пустым), но если им на 5-й день предлагали гумифицированный берёзовый опад, начинали питаться и не погибали (срок наблюдений 10 дней после добавления берёзового гумуса). *A. caliginosa* при помещении в свежий опад ели погибали, но если положить на него комочек (3–4 мл) берёзового гумуса, концентрировались в нём, а спустя две недели начинали мигрировать без вреда для себя в толще хвои ели с признаками начала колонизации грибами. *L. rubellus* в таких условиях продолжали активно перемещаться по всему субстрату и гибли. Также *L. rubellus* выживали, а *A. caliginosa* нормально питались в слое H, взятом в том же ельнике с глубины 10–12 см (рН 5,4, возможно, этот слой гумуса формировался, когда ельник находился в другой стадии сукцессии, с иным составом растительности). При помещении в сосуды с мореной с нейтральной реакцией среды, не содержащей при закладке органических остатков, поверх которой насыпан слой хвои ели, *A. caliginosa* выживали месяц (срок наблюдений), постоянно находились в минеральном горизонте и выносили копролиты примерно на границу минерального и органического слоев, а не на поверхность или в толщу слоя хвои, как это делали *L. rubellus*, которые также иногда длительно присутствовали в слое смешанного с минеральным грунтом елового опада. Если в сосудах слой опада был не 2–2,5 см, как в первоначальном эксперименте с большими лотками, а 4–4,5 см, *L. rubellus* массово выносили копролиты только в нижние 2–2,5 см опада, а выше этого уровня отмечался только редкий вынос минерального материала (имеются пока статистически недостаточно подтверждённые наблюдения, что высота, на которую *L. rubellus* выносят копролиты над минеральным слоем – в слой подстилки, пропорциональна размеру червей).

Состав колонизирующих изучаемый опад микоценозов специально не изучался. В одном из экспериментов с использованием неоподзоленной морены, *L. rubellus* и опада ели на поверхности появилось плодовое тело почвенно-подстилочного сапротрофного ксилотрофного гриба *Coprinopsis* sp.

На основании данных, полученных в контролируемых модельных условиях, можно сделать следующие выводы:

1. Результаты эксперимента подтверждают полевые данные, что деятельность дождевых червей ниже в кислых и выше в богатых кальцием почвах [7]. Наши данные демонстрируют различия влияния опада разных видов таёжных растений на активность червей в почвах с нейтральной реакцией среды.

2. Эпигейный вид *D. octaedra* способен только к ранее известной активности в слое подстилки [1, 8] и не проявляет даже ограниченного участия в педотурбациях на почвах даже с нейтральной реакцией среды.

3. Эпигейно-эндогейный вид *L. rubellus* без вреда для себя контактирует со свежим опадом хвойных, брусники и сфагнома при нейтральной реакции подстилающего минерального слоя, не способен выжить в опаде этих растений на среднекислых элювиальных почвах (подобная тенденция сохраняется и в гумусированном опаде ели), но выживает на среднекислых почвах при значительном участии опада листопадных видов (в т.ч. когда гумифицированный опад имеет слабокислую реакцию – рН 4,8).

4. Педотурбации *L. rubellus* отмечены только при нейтральной реакции подстилающего минерального слоя. Очевидно, что хотя в опаде использованных в эксперименте таёжных растений – ели, пихты, можжевельника, брусники, сфагнома – могут развиваться пригодные для питания *L. rubellus* сапрофитные виды грибов, известное из литературы [9] подкисляющее влияние опада самих хвойных на минеральные слои почвы ведет к исключению из почвообразовательных процессов даже ограниченной вермопедотурбации. При слабокислой реакции подстилающего минерального слоя в пригодной для жизни подстилке *L. rubellus* (а также *A. caliginosa*) ведёт себя как чисто эпигейный вид.

5. *L. rubellus* может перемешивать органические и минеральные слои почвы по крайней мере до глубины 4 см минерального горизонта (в сосняке низкотравном на той же морене, где брались образцы грунта и червей, в ноябре ушедшие на зимовку *L. rubellus* были отмечены до глубины 6 см). Но, в отличие от широко описанной активности *L. terrestris*, направленной на перемещение органических остатков с поверхности вглубь минерального слоя, *L. rubellus* в основном перемещают минеральные частицы в/на подстилку. Можно предположить, что: а) активное перемещение минеральных частиц на поверхность свежего опада является эволюционно-выработанным типом поведения червей, ведущим к снижению кислотности подстилки и повышению скорости её разложения; б) *L. rubellus* участвует в формировании грубогумусового и грубогумусированного горизонтов [6] таёжных почв.

6. На опаде видов рода *Pinus* – сосны и кедра не развиваются пригодные для питания *L. rubellus* сапрофитные виды грибов (наши наблюдения косвенно подтверждают данные Reich et al. [7] о большей общей биомассе червей под елью, чем под сосной, но не совпадают с данными И.Н. Безкоровайной [10] о более быстром вовлечении в биологическую трансформацию хвои сосны, чем хвои ели – возможно, в этих процессах по-разному участвуют различные виды червей и/или, в целом, группы беспозвоночных, к сожалению, в обеих работах не указаны виды червей). В естественных условиях, возможно, на таком опаде развиваются эктомикоризные грибы, пригодные для их питания, но выяснить это в условиях модельных экспериментов не представляется возможным, поскольку характерные для хвойных лесов эктомикоризные виды грибов, за редким исключением, облигатные мутуалисты, не культивируемые в искусственных условиях [11].

7. Для *L. rubellus* лимитирующим фактором в ельниках являются воздействие на их покровы химических свойств подстилки. *A. caliginosa* и *D. octaedra* не чувствительны к химическим раздражителям еловой подстилки. Субстраты, видимо, токсичные для покровов *L. rubellus*, пригодны для питания *D. octaedra*, но непригодны для *A. caliginosa*. Продукты

разложения обогащенного карбонатной мореной либо опадом листопадных пород опада ели (или питающиеся ими микроорганизмы) пригодны для питания *L. rubellus* и *A. caliginosa*.

8. Пример с можжевельником даёт основание предположить, что интенсификация разложения опада хвойных эпигейно-эндогейными дождевыми червями ускоряет подкисление подстилающих минеральных горизонтов.

### Литература

1. Tiunov A.V., Hale C.M., Holdsworth A.R., Vsevolodova-Perel T.S. Invasion patterns of Lumbricidae into the previously earthworm-free areas of northeastern Europe and the western Great Lakes region of North America // *Biol. Invasions*. 2006. V. 8. P. 1223–1234.
2. Бызов Б.А. Зоомикробные взаимодействия в почве. М.: ГЕОС, 2005. 213 с.
3. Bohlen P.J., Scheu S., Hale C.M., McLean M.A., Migge S., Groffman P.M., Parkinson D. 2004. Non-native invasive earthworms as agents of change in northern temperate forests. // *Frontiers in Ecology and the Environment*. V. 2. P. 427–435.
4. Крылова Л.П., Акулова Л.И., Долгин М.М. Дождевые черви (Oligochaeta, Lumbricidae) таежной зоны Республики Коми. Сыктывкар: Коми гос. пед. ин-т, 2011. 104 с.
5. Воробьева Л.А. Химический анализ почв: учебник. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
6. Полевой определитель почв. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
7. Reich P.B., Oleskyn J., Modrzynski J., Mrozinski P., Hobbie S.E., Eissenstat D., Chorover J., Chadwick O.A., Hale C.M., Tjoelker M.G. Linking litter calcium, earthworms, and soil properties: a common garden test with 14 tree species // *Ecol Lett*. 2005. 8: P. 811–818.
8. Addison J.A. Distribution and impacts of invasive earthworms in Canadian forest ecosystems // *Biol. Invasions*. 2009. V. 11. P. 59–79.
9. Cajander A.K. The theory of forest types. *Acta For Fenn*. 1926. V. 29(3). P. 1–108.
10. Безкоровайная И.Н. Роль почвенных беспозвоночных в деструкции органического вещества лесных экосистем енисейского меридиана: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Красноярск, 2009. 44 с.
11. Horton T.R. (ed.). Mycorrhizal Networks // *Ecological Studies*. 2015. № 224. DOI: 10.1007/978-94-017-7395-9\_1

### SOME FACTORS INFLUENCING THE PARTICIPATION OF EARTHWORMS IN THE FORMATION OF TAIGA SOILS (PRELIMINARY MODEL EXPERIMENTS DATA)

M. Voytehov

Taldom local administration for nature reserve, Taldom, mihail-voytehov@yandex.ru

**Summary.** It is describe influence of typical taiga zone different plant litters (*Pinus sylvestris*, *P. sibirica*, *Picea abies*, *Abies sp.*, *Juniperus communis*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Betula sp.*, *Sphagnum*) and of the underlying mineral soil acidity on viability and on the pedoturbation activity of three earthworms species (*Dendrobaena octaedra*, *Lumbriscus rubellus* and *Aporrectodea caliginosa*).

**Keywords:** taiga zone, earthworms, soil acidity, litterfall, forest floor, humus, zoopedoturbation.

## КОНЦЕНТРАЦИЯ И ЗАПАСЫ КАЛИЯ, КАЛЬЦИЯ И ФОСФОРА В БЛОКАХ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ТРАВЯНЫХ ЭКОСИСТЕМ ТЕРСКО-КУМСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Г.Н. Гасанов<sup>1,2,3</sup>, Т.А. Асварова<sup>1</sup>, К.М. Гаджиев<sup>1</sup>, Р.Р. Баширов<sup>1</sup>, А.С. Абдулаева<sup>1</sup>,  
З.Н. Ахмедова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Прикаспийский институт биологических ресурсов ДНЦ РАН, Махачкала, nikuevich@mail.ru.

<sup>2</sup> Институт экологии и устойчивого развития ФГОУ ВО Дагестанский государственный университет, Махачкала

<sup>3</sup> Дагестанский ГАУ имени М.М.Джамбулатова, Махачкала

**Аннотация.** Исследования проводились на светло-каштановой, лугово-каштановой почвах и солончаке типичном автоморфном на Кочубейской биосферной станции Прикаспийского института биологических ресурсов Дагестанского научного центра РАН (ПИБР ДНЦ РАН). На лугово-каштановой почве фотосинтезирующей массы, ветоши, степного войлока и корней накапливается соответственно в 2,3; 2,3; 2,3 и 2,2 раза, на солончаке типичном – в 2,5; 2,7; 2,5 и 2,7 раза меньше, чем на светло-каштановой почве. В зеленой фитомассе концентрация К составляет 2,38–2,51%, Са Р меньше в 4,7 и 10,5 раз. В остальных блоках органического вещества наибольшую концентрацию имеет Са: в ветоши – 0,45–0,46%, в войлоке – 1,14–1,15, в подземных органах – 1,13–1,19%. Запасы фосфора в надземной массе фитоценоза за вегетационный период на светло-каштановой почве составляет 3,6 кг/га·год, превышающие аналогичные показатели на лугово-каштановой почве и солончаке типичном соответственно в 2,5 и 2,7 раза по Р, в 1,9–2,2 раза по К, в 2,3–2,8 раза по Са. Запасы К в надземной фитомассе (15,8 кг/га·год) превышают запасы фосфора по всем типам почв в 9,5 раза. На лугово-каштановой почве и солончаке типичном они имеют минимальные значения – 6,8 и 6,0 кг/га·год. Са в надземной массе фитоценозов накапливается (5,4 кг/га·год) в 5,4 раза больше фосфора и в 1,8 раза меньше, чем калия. Запасы химических элементов в корневой массе по всем типам почв больше, чем в надземной: фосфор в 4,0 раза (4,0 кг/га против 1,0 кг/га), калия – в 2,2 раза (21,0 кг/га против 9,5 кг/га) кальция – в 10,2 раза (59,3 кг/га против 5,8 кг/га).

**Ключевые слова:** калий, кальций, фосфор, фитомасса, блоки органического вещества, запасы химических элементов.

Терско-Кумская низменность занимает Северо-Западную часть Прикаспийской низменности, площадью 1,53 млн. га. Почвенно-растительный покров территории характеризуется высокой степенью деградированности в силу аридности климата с частыми ветрами, наличием легких по гранулометрическому составу и засоленных почв, высокой пастбищной нагрузки на экосистемы. Почвы бедны гумусом и основными элементами питания растений, имеют неблагоприятный водно-солевой режим и, как следствие этого, низкую продуктивность – 5–8 ц/га [1]. Но такая продуктивность соответствует только фотосинтезирующей части надземной массы, без учета других ее блоков – ветоши, степного войлока, корневой массы фитоценозов, поэтому не может полностью отражать масштабы биотического круговорота веществ на данной территории.

В работах [2, 3] приводятся данные по относительному содержанию химических элементов в вегетирующей воздушно-сухой массе (сене), но нет данных по концентрации их в блоках органического вещества. Отсутствие этих данных не позволяет судить также и о запасах биофильных элементов.

Цель – исследование накопления фитомассы, концентрации и запасов К, Са и Р, в блоках органического вещества травяных экосистем основных типов почв Терско-Кумской низменности.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проводили на Кочубейской биосферной станции ПИБР ДНЦ РАН в течение 2011–2016 гг. Географические координаты расположения экспериментальных участков: 44.40720 с.ш., 46.24771 в.д. Экспериментальные участки, площадью 100 м<sup>2</sup> были обнесены железной сеткой для предотвращения потрав скотом (заповедный режим). Образцы для определения структуры растительных сообществ определяли укосным методом, путем скашивания травостоя на 3-х опытных участках размером 0,25 м<sup>2</sup>.

Накопление фитомассы по блокам органического вещества учитывали по А.А. Титляновой [4]. Для анализа химического состава растений использовали надземные (зеленая масса, ветошь, войлок) и подземные части (корни) растений в период вегетации. химических элементов по блокам (ветошь, степной войлок, живые и мертвые корни). Определение содержания калия, кальция в растениях проведено при помощи системы капиллярного электрофореза – «Капель-105М» (в режиме определения катионов и анионов) [5], фосфора – по ГОСТ26205-91 [6]. Латинские названия видов растений даны по Р.А. Мургазалиеву [7].

**Обсуждение результатов.** В условиях низменности наибольшей продуктивностью отличается светло-каштановая почва, где воздушно-сухой фитомассы накапливается больше, чем на лугово-каштановой в 2,2 раза. На солончаке типичном автоморфном продуктивность фитоценоза снижается еще больше – в 2,6 раза.

Из рассматриваемых блоков органического вещества ветоши на светло-каштановой почве накапливается на 4,8%, на лугово-каштановой – на 9,5% больше, чем зеленой массы; на солончаке типичном показатели ветошии фотосинтезирующей массы одинаковы.

Большее накопление ветоши на первых двух типах почв объясняется видовым составом фитоценозов. На светло-каштановой почве в условиях низменности формируются два урожая фитомассы: первый – эфемеров, в составе которых преобладают представители мятликовых (51,4% по количеству, 19,6% по массе). Они вегетируют в первой половине лета и в осенний период, представлены полевичкой малой (*Eragrostic minor* Host.), бурачком пустынным (*Alussum desertorum* Stapf.), мятликом луковичным (*Poa bulbosa* L.), мортуком восточным (*Eremopyrum orientale* (L.) (Jaub. et Spach), костром растопыренным (*Bromus squarrosus* L.), костром кровельным (*Anisantha tectorum* L.) и др. Второй урожай формируется во второй половине лета за счет представителей разнотравья и солянок. Ветошь с этих двух урожаев за 3–4-летних месяца не успевает полностью транслоцироваться в степной войлок, поэтому фитомасса войлока остается достаточно высокой.

На лугово-каштановой засоленной с поверхности почве фитоценоз представлен полыннями таврической и Лерха (37,7% по количеству, 83,7% по массе), ветошь которых медленно переходит в степной войлок и сохраняется, почти полностью, до конца вегетационного периода. Для солончака типичного характерна комплексность, когда совершенно бесплодные солончаковые пятна на западинах чередуются с бугорками, бугорочками из илисто-песчаных фракций, занятых галофитами и представителями семейства мятликовых. Наблюдается постепенная транслокация ветоши в войлок в течение всего летнего периода, что и является причиной относительно меньшего накопления ветоши на солончаке типичном, чем на других типах почв.

По данным многих авторов вклад подземных органов в общую массу травянистых фитоценозов составляет 50–90% [8, 9]. В наших исследованиях доля корней в суммарной фитомассе по типам почв была одинаковой – 82,2–85,5% – и приближалась к верхнему из этих показателей. Такое высокое соотношение надземной массы к подземной (1:5,6 – 1:6,1) характерно для всех засушливых регионов мира [10, 11]. На лугово-каштановой почве и солончаке типичном их масса оказалась в 2,2 и 2,9 раза меньше, чем на светло-каштановой.

Коррелятивные зависимости между накоплением надземной (X) и подземной (Y) массы по типам почв в условиях полупустыни следующие: на

светло-каштановой –  $y = 0,6935x + 73,7823$   $r = 0,97$   $R = 0,96$

лугово-каштановой –  $y = 1,1804x + 30,7254$   $r = 0,96$   $R = 0,95$

солончаке типичном –  $y = 1,7925x + 21,0415$   $r = 0,97$   $R = 0,95$

Основной причиной снижения сборов фитомассы на лугово-каштановой почве и солончаке типичном является повышение степени и изменение химизма засоления почвы в сторону увеличения соотношения ионов  $Cl^- : SO_4^-$  [9].

Средние показатели концентрации по блокам органического вещества и типам почв Терско-Кумской низменности в целом соответствуют накопленному урожаю фитомассы. Наибольшую концентрацию в зеленой фитомассе имеет калий – 2,38–2,51%, кальция содержится меньше в среднем в 4,7 раза, фосфора – в 10,5 раза. В остальных блоках отмечено макси-

мальное содержание кальция: в ветоши – 0,45–0,46%, в войлоке – 1,14–1,15, в подземных органах – 1,13–1,19% (таблица).

**Концентрация и запасы К, Са и Р в блоках органического вещества по типам почв (заповедный режим) за 2011–2016 гг., %**

Блок органического вещества	Тип почвы								
	Светло-каштановая			Лугово-каштановая			Солончак типичный		
	Р	К	Са	Р	К	Са	Р	К	Са
Зеленая масса	<u>0,22</u> 0.12	<u>3,00</u> 2.02	<u>0,48</u> 0.26	<u>0,20</u> 0.14	<u>2,90</u> 1.94	<u>0,41</u> 0.23	<u>0,19</u> 0.13	<u>2,7</u> 2.06	<u>0,37</u> 0.35
Ветошь	<u>0,07</u> 0,03	<u>0,38</u> 0,3	<u>0,07</u> 0,03	<u>0,05</u> 0,04	<u>0,38</u> 0,3	<u>0,500.4</u> 7	<u>0,07</u> 0,03	<u>0,44</u> 0,38	<u>0,60</u> 0,32
Войлок	<u>0,14</u> 0,08	<u>0,34</u> 0,5	<u>1,30</u> 2.00	<u>0,15</u> 0,09	<u>0,46</u> 0,38	<u>0,7</u> 1.6	<u>0,14</u> 0,08	<u>0,56</u> 0,3	<u>1,00</u> 1.28
Подземные органы	<u>0,10</u> 0,08	<u>0,65</u> 0,5	<u>1,38</u> 1.2	<u>0,09</u> 0,05	<u>0,56</u> 0,4	<u>1,381.0</u> 7	<u>0,07</u> 0,04	<u>0,48</u> 0,2	<u>1,14</u> 0,8
Запасы									
Зеленая масса	1.6	23.1	3.4	0.6	9.2	1.2	0.5	8.1	1.2
Ветошь	0.7	5.6	6.6	0.3	2.4	2.8	0.3	2.0	2.4
Войлок	1.3	3.8	10.5	0.3	1.1	3.1	0.4	1.2	3.2
Подземные органы	15.4	96.5	229.7	5.8	40.1	94.4	5.7	34.1	80.9

\* Концентрация К, Са и Р, в числителе – апрель, в знаменателе – август.

Это достаточно высокое содержание важнейших биофильных элементов, которые, в условиях непромывного водного режима, способствуют поддержанию в почвенном растворе нейтральной и слабощелочной реакции среды [8, 13].

Максимальные запасы фосфора в надземной массе фитоценоза за вегетационный период накапливаются на светло-каштановой почве, превышающие аналогичные показатели на лугово – каштановой почве и солончаке типичном соответственно: Р в 2,5 и 2,7 раза, Кв 1,9–2,2 раза, Са в 2,3–2,8 раза. Запасы К в среднем превышают запасы Р по всем типам почв в 9,5 раза. При этом, максимальные значения, как и в случае с фосфором, получены на светло-каштановой почве – до 15,8 кг/га. На лугово-каштановой почве и солончаке типичном эти показатели были минимальными – 6,8 и 6,0 кг/га. Кальция в надземной массе фитоценозов накапливается в среднем 5,4 кг/га·год, или в 5,4 раза больше фосфора и в 1,8 раза меньше, чем калия. Запасы химических элементов в корневой массе всех исследуемых почв больше, чем в надземной: фосфора в 4 раза (4,0 кг/га против 1,0 кг/га), калия – в 2,2 раза (21,0 кг/га против 9,5 кг/га) кальция – в 10,2 раза (59,3 кг/га против 5,8 кг/га).

Анализ результатов исследований показывает, что на всех типах почв более высокие концентрации химических элементов получены в весенний период по сравнению с августовским. Данный факт объясняется благоприятным водным режимом почвы в этот период, который способствует интенсивному поступлению химических элементов в растения. Причиной снижения концентрации этих элементов при августовском сроке определения является увеличение засоленности почвы, повышение осмотического давления почвенного раствора и торможение поступления почвенной влаги и питательных элементов в растения. Полученные данные подтверждают справедливость мнения исследователей [8, 13], увязывающих интенсивность поступления Р, К, Са в растения благоприятностью гидротермических условий территории, а не наоборот [3].

Есть еще другая причина уменьшения питательных элементов в пастбищных фитоценозах к концу вегетационного периода или к весне следующего года – это отток части элементов из стареющих и отмирающих тканей растений в молодые или вновь создаваемые. Этот процесс ретранслокации питательных элементов А.А. Титлянова [8] считает универсальным, присутствующим во всех экосистемах. По ее данным ретранслокация Р в различных экосистемах (за исключением пустыни) колеблется от 4 (тундра) до 73% (береза в средней тайге), К (включая еще то количество, которое выщелачивается из надземных органов) – от 27% в пустынях до 83%



в луговой степи. По ретранслокации Са в травяных экосистемах данных нет. Поэтому мы считаем, что снижение Р, К, Са в пастбищных фитоценозах с ноября по апрель следующего года объясняется не трансформацией лугово-попынных сообществ в эфемерно-попынные и опынные[3], а транслокацией и ретранслокацией их по блокам органического вещества в процессе смены фаз развития растений. Таким образом, достаточное содержание в фитомассе, а в последующем поступление в верхнюю часть профиля почвы Р, К и Са является следствием полной обратимости циклов биологического круговорота этих элементов под травянистой растительностью в основных типах почв Терско-Кумской низменности Прикаспия.

### Литература

1. Усманов Р.З., Осипова С.В., Джалалова М.И., Бабаева М.А. Использование методов фитомелиорации на деградированных пастбищах Терско-Кумской низменности // Юг России: Экология, развитие. 2008. № 3. С. 109–111.
2. Загидова Р.М., Бийболатова З.Д., Асгерова Д.Б., Абдурашидова П.А. Экология смен в растительных группировках Терско-Кумской и Терско-Сулакской низменностей // Вестник Дагестанского государственного университета. 2015. Т. 30, вып. 1. С. 60–65.
3. Гиреев Г.И., Луганова С.Г., Салихов Ш.К. Приоритетные макроэлементы в растительности пастбищ регионов Дагестана // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. Т. 18, № 3. С. 767–770.
4. Титлянова А.А. Продуктивность травяных экосистем // Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / под ред. В.Б. Ильина. Новосибирск. Новосибирск: Наука, 1988. С. 109–127.
5. Комарова Н.В., Каменцев Я.С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ» СПб.: Веда, 2006. 212 с.
6. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. ГОСТ 26205-91. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР. 9 с.
7. Муртазалиев Р.А. Конспект флоры Дагестана. Т. I (Lycopodiaceae – Urticaceae). 320 с. (ISBN 978-5-98390-083-7); Т. II (Euphorbiaceae – Dipsacaceae). 248 с. (ISBN 978-5-98390-063-9); Т. III (Campanulaceae – Hippuridaceae). 304 с. (ISBN 978-5-98390-074-5); Т. IV (Melanthiaceae – Acoraceae) 232 с. (ISBN 978-5-98390-074-5) / отв. ред. чл.-корр. РАНР. В. Камелин. Махачкала: Эпоха, 2009.
8. Титлянова А.А. Бюджет элементов питания в экосистемах // Почвоведение. 2007. № 12. С. 1422–1429.
9. Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Ахмедова З.Н., Абдулаева А.С., Баширов Р.Р., Арсланов М.А. Состояние и приемы восстановления продуктивности растительного покрова Терско-Кумской полупустыни // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18, № 2-1. С. 59–64.
11. Курбатская С.С. Изменение структуры и запаса растительного вещества на мониторинговых участках степных экосистем // Научные исследования Тувы. 2009. № 4. С. 6–21.
12. Титлянова А.А., Самбуу А.Д. Детерминированность и синхронность залежной сукцессии в степях Тувы // Изв. РАН. Сер. Биол. 2014. № 6. С. 621–630.
13. Kader M., Lindberg S. Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress. *Plant Signaling & Behavior*. 2010. 5(3): 233–238 (<http://dx.doi.org/10.4161/psb.5.3.10740>).

### THE CONCENTRATION AND STOCKS OF POTASSIUM, CALCIUM AND PHOSPHORUS IN UNITS OF ORGANIC MATTER OF GRASSLAND ECOSYSTEMS OF THE TEREK – KUMA LOWLAND

G.N. Gasanov<sup>1,2,3</sup>, T. A. Asvarova<sup>1</sup>, K.M. Hajiyev<sup>1</sup>, R.R. Bashirov<sup>1</sup>, A.S. Abdulaeva<sup>1</sup>, Z.N. Akhmedova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Precaspian Institute of Biological Resources of Dagestan Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Makhachkala, [nikuevich@mail.ru](mailto:nikuevich@mail.ru)

<sup>2</sup> Institute of Ecology and Sustainable Development FGOU VO Dagestan State University, Makhachkala

<sup>3</sup> Dagestan State University named M.M. Dzhambulatova, Makhachkala

**Summary.** *The studies were conducted on light chestnut, meadow-chestnut soils and saline typical automorphic on Kochubey biosphere station of the Caspian Institute of biological resources of the Dagestan scientific center of RAS. On the meadow-chestnut soil of the photosynthetic mass, rags of steppe felt and roots accumulate in 2.3, respectively; 2.3; 2,3 and 2,2 times, in saline typical – in 2,5; 2.7, 2.5 and 2.7 times*

less than on light chestnut soil. In green phytomass K concentration is 2.38-2.51%, Ca and P are less in 4.7 and 10.5 times. In the remaining blocks of organic matter, Ca is the most concentrated: in rags -0.45-0.46%, in felt - 1.14-1.15, in underground organs - 1.13-1.19%. The phosphorus reserves in the above-ground mass of the phytocenosis during the vegetation period on light chestnut soil are 3.6 kg / ha • year exceeding those in meadow chestnut soils and saline typical of 2.5 and 2.7 times respectively in P, in 1, 9-2.2 times in K, 2.3-2.8 times in Ca. The K reserves in the aboveground phytomass (15.8 kg / ha • yr) exceed the phosphorus reserves for all soil types by 9.5 times. On meadow chestnut soils and solonchak typical they have minimum values of 6.8 and 6.0 kg / ha • yr. Ca in the aboveground mass of phytocenoses accumulates (5.4 kg / ha • yr) 5.4 times more phosphorus and 1.8 times less than potassium. The reserves of chemical elements in the root mass for all types of soil are higher than in the above-ground: phosphorus 4.0 times (4.0 kg / ha against 1.0 kg / ha), potassium 2.2 times (21.0 kg / Ha against 9.5 kg / ha) of calcium - in 10.2 times (59.3 kg / ha against 5.8 kg / ha).

**Keywords:** potassium, calcium, phosphorus, phytomass, blocks of organic matter, stocks of chemical elements.

## ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ВИДОВ РАСТЕНИЙ БОЛОТ

Л.П. Гашкова

Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, gashkova-lp@rambler.ru

**Аннотация.** В результате воздействия пожаров на болота в растениях увеличивается содержание Zn, Cu и Cd. Коэффициенты биологического поглощения Cu и Cd возрастают на постпирогенных участках. Биогеохимическая активность видов удваивается после пожара в результате повышения содержания доступных для растений элементов.

**Ключевые слова:** болото, пожар, тяжёлые металлы, коэффициенты биологического поглощения, Zn, Cu, Pb, Cd.

Пожары на болотах приводят к резкому изменению геохимической структуры ландшафта. После пожара в торфе резко повышается содержание различных элементов, в том числе и тяжёлых металлов [1, 2]. На верховых болотах, в условиях дефицита микроэлементов, особенно ярко проявляется постпирогенное ускорение биогеохимических циклов в результате перехода микроэлементов из органической в неорганическую, доступную для растений форму [3]. На загрязнённых территориях высвобождение при сгорании торфа токсичных элементов может приводить к превышению предельно допустимых нормы представляет собой серьёзную угрозу для здоровья человека [4, 5]. Некоторые элементы (например, Zn и Cd) большей частью вовлекаются в атмосферный перенос, остальные (в том числе Pb и Cu) накапливаются на месте пожара [6].

Целью данного исследования было сравнить биогеохимическую активность видов растений с болот, пострадавших от пожара с фоновыми значениями данного коэффициента.

Объектами исследования послужили 5 участков болот, пострадавших от пожара (19 проб растений, 5 проб торфа), которые сравнивались с фоновыми значениями (75 проб растений, 8 проб торфа).

Проведённые исследования включали в себя геоботаническое описание участков, определение мощности торфяной залежи, отбор проб растений и торфа для определения содержания тяжёлых металлов. Образцы растений для анализа отбирались путём формирования средней пробы с 10 и более особей из побегов текущего года, отдельно для каждого вида. Отбор проб торфа производился непосредственно рядом с отбираемыми растениями, при помощи породотборочного бура ТБГ-1 с глубины 0–25 см, в пределах которой сосредоточена наибольшая концентрация всасывающих корешков [7]. Отбор проб проводился по стандартной методике [8]. Отбирались растения следующих видов: *Pinus sibirica*, *Pinus sylvestris*, *Ledum palustre*, *Chamaedaphne calyculata*, *Rubus chamaemorus*, *Betula pubescens*, *Carex rostrata*, *Vaccinium uliginosum* и *Sphagnum fuscum*.

Концентрация Zn, Pb, Cd и Cu в растениях и торфе определялась при помощи метода инверсионной вольтамперометрии. Анализ проводился по методике МУ 31-04/04 (ФР.1.31.2004.00986) в лабораторно-аналитическом центре СибНИИСХиТ. Статистический анализ полученных данных и графическое отражение результатов проведено с использованием Statsoft Statistica for Windows 6.0. и Excel 7.0. Сравнение и значимость отличий между выборками устанавливались при помощи непараметрического критерия Манна-Уитни и Краскела-Уоллиса.

Для установления степени изменения соотношения элементов на постпирогенных участках применялись геохимические коэффициенты: коэффициент биологического поглощения (КБП), отражающий отношение концентрации элемента в золе растения к его концентрации

в почве [9]; биогеохимическая активность видов (БХА), составляющая сумму КБП исследуемых элементов [10].

Сравнение полученных нами результатов по содержанию Zn, Cu, Pb и Cd в растениях для 5 участков болот, пострадавших от пожара, с данными для ненарушенных участков [11], показало, что содержание всех данных элементов возрастает на нарушенных участках, но в разной степени. Концентрация Cd на фоновых участках оказалась на границе уровня определения применяемым методом. На участках болот, подвергшихся пожарам, концентрация данного элемента резко возрастает (примерно в 34 раза). Содержание Cd в растениях с нарушенных участков при этом не превышает нормальной концентрации Cd в растениях [12, 13].

Содержание Cu в растениях увеличивается примерно на порядок на постпирогенных участках. Концентрация Zn, увеличивается менее резко, примерно на треть. Различия в содержании Pb оказались минимальными, и не достигли порога статистической значимости (рис. 1).

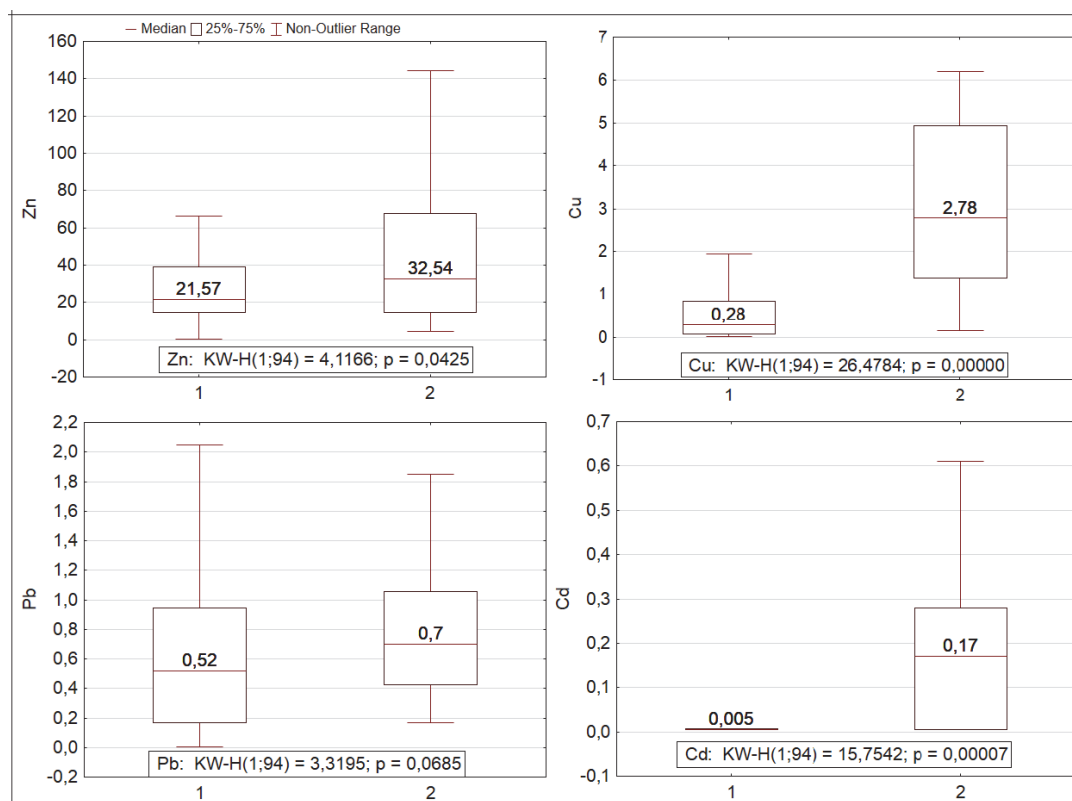


Рис. 1. Изменение содержания элементов в растениях в зависимости от степени антропогенной нагрузки (1 – ненарушенные болота; 2 – болота после пожара)

На постпирогенных участках болот обнаружилось значимое увеличение коэффициентов биологического поглощения для Cu и Cd ( $Z = -2,81$  и  $-2,65$  соответственно; при  $p < 0,005$ ). Повышение значений этих коэффициентов свидетельствует о возрастании концентрации подвижных форм элементов в торфяной залежи, появившихся в результате сгорания растительности и верхнего слоя торфа.

Рассчитанная нами биогеохимическая активность видов для элементов Zn, Cu, Pb и Cd на фоновых участках составляет чуть более 50, увеличиваясь на участках болот после пожара почти в 2 раза (рис. 2).

Таким образом, на участках болот после пожара возрастает содержание Zn, Cu и Cd в растениях. Повышение содержания данных элементов в растениях может являться индикатором произошедшего на болоте торфяного пожара. В растениях на постпирогенных болотах увеличиваются коэффициенты биологического поглощения Cu и Cd, что вызвано повышением концентрации в торфе доступных для растений элементов. Биогеохимическая активность видов на постпирогенных болотах удваивается что может быть результатом ускорения биогеохимических циклов.

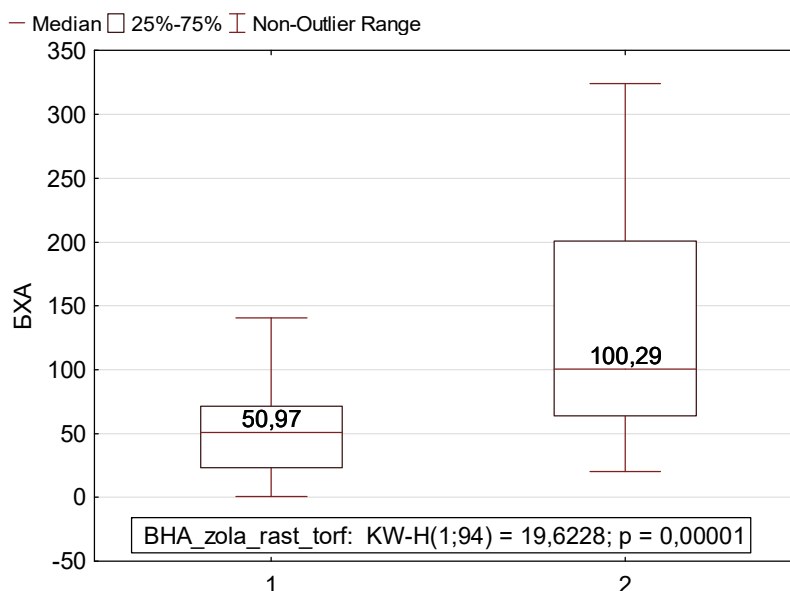


Рис. 2. Изменение БХА в зависимости от степени антропогенной нагрузки (1 – ненарушенные болота; 2 – болота после пожара)

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-45-700418-р\_а.*

### Литература

1. Трофимов В.Т., Харьковина М.А., Григорьева И.Ю. Экологическая геодинамика. М.: КДУ, 2008. 473 с.
2. Ахметьева Н.П., Михайлова А.В., Кубасов А.Е., Дворкин В.И. Новые возможности анализа торфа при изучении торфяных пожаров // Инновационные аспекты добычи, переработки и применения торфа: материалы международной конференции. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. С. 153–157.
3. Guoping W., Xiaofei Y., Kunshan B., Wei X., Chuanyu G., Qianxin L., Xianguo L. Effect of fire on phosphorus forms in Sphagnum moss and peat soils of ombrotrophic bogs // Chemosphere Available. 2015. Vol. 119. P. 1329–1334. doi: 10.1016/j.chemosphere. 2014.01.084.
4. Мелентьев Г.Б., Короткий В.М., Малинина Е.Н., Самонов А.Е. Торф – национальное достояние России: перспективы многоцелевого использования и экологическая безопасность // Экология промышленного производства. 2011. № 1. С. 69–80.
5. Bethaa R., Pradanib M., Lestari P., Joshic U.M., Reidd J.S., Balasubramaniana R. Chemical speciation of trace metals emitted from Indonesian peatfires for health risk assessment // Atmospheric Research. 2013. Vol. 122, March. P. 571–578 doi:10.1016/j.atmosres. 2012.05.024
6. Журкова И.С., Щербов Б.Л. Миграция химических элементов при лесном низовом пожаре (Алтайский край) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2016. Т. 16. С. 30–41.
7. Солоневич Н.Г. К методике определения биологической продуктивности болотных растительных сообществ // Ботан. журн. 1971. Т. 56. С. 497–511.
8. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 60 с.
9. Айвазян А.Д. Геохимические особенности флоры ландшафтов юго-западного Алтая. М.: Изд-во МГУ, 1974. 155 с.
10. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: МГУ, 1999, 610 с.
11. Гашкова Л.П. Особенности накопления тяжелых металлов болотными растениями юго-востока Западной Сибири // Вестник Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина. 2016. № 4 (53). С. 146–158.
12. Бахнов В.К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: Наука, 1986. 193 с.

13. Ильин В.Б., СысоА.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.

#### **INFLUENCE OF FIRES ON CHANGE OF BIOGEOCHEMICAL ACTIVITY OF BOGS PLANTS**

L.P. Gashkova

Siberian Research Institute of Agricultural and Peat – branch of Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, National Research Tomsk state university, Tomsk, gashkova-lp@rambler.ru

**Summary.** *Because of the impact of fires on bogs in bog plants, the content of Zn, Cu and Cd increases. The coefficients of biological absorption of Cu and Cd increase on post-pyrogenic sites. Biogeochemical activity of species is doubled after a fire because of increasing the content of elements accessible to plants, Zn, Cu, Pb, Cd.*

**Keywords:** *bog, fire, heavy metals, biological absorption coefficients.*

## МИКРОБНЫЕ ПЕЙЗАЖЫ КАК ПОКАЗАТЕЛИ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ

А.А. Данилова<sup>1</sup>, Е.В. Напрасникова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сибирский Федеральный центр агробиотехнологий РАН, Краснообск, Danilova7alb@yandex.ru

<sup>2</sup> Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, г.codar@mail.ru

**Аннотация.** *Впервые описано закономерное изменение микробного пейзажа в катенарном ряду мерзлотных аласных почв. Выявили основное различие пейзажей целинной и пахотной почвы, заключающееся в значительном преобладании в ненарушенной почве бактерий, развивающихся на живых гифах грибов. Показали возможность изучения микробного пейзажа антропогенно нарушенной почвы в лабораторных условиях, что открывает перспективы для разработки новых информативных способов биоиндикации*

**Ключевые слова:** мерзлотные почвы, микробиологические пейзажи почв, экспериментальное воспроизведение.

Методы стекол обрастания и капиллярных педоскопов в свое время позволили составить общее представление о разнообразии микробного населения почв *in situ*. А.В. Рыбалкина, Е.В. Кононенко [1], Т.В. Аристовская [2], О.М. Паринкина [3], адаптировавшие эти методы для применения в разных типах почв, рекомендовали сопровождать описание пейзажей с посевами на питательные среды для выделения представителей микробиоты, обнаруженных на пейзажах. Задача в целом не была решена, так как большинство микроорганизмов, обнаруженных на пейзажах, не культивировались на средах. Трудоемкость процедуры привело к тому, что этот метод стал применяться крайне редко.

На наш взгляд, при соответствующей постановке задач исследования данный подход может служить важным источником информации, прежде всего, при изучении антропогенной трансформации экосистем.

В данном сообщении представлен материал первого этапа исследований по выявлению маркеров антропогенного нарушения экосистем по состоянию микробного сообщества почвы. Основные задачи заключались в следующем: 1. Выявить особенности микробного пейзажа ряда почв по катене 2. Показать основные различия пейзажей целинной и пахотной почвы 3. В условиях лабораторного опыта опробовать возможность визуализации отклика микробного сообщества на стресс

**Объекты и методы исследования.** В сообщении анализированы микробные пейзажи мерзлотных аласных почв Лено-Амгинского междуречья и мерзлотной лугово-черноземной почвы надпойменной террасы р. Лена Объекты исследования подробно описаны ранее [3,4]. Стекла экспонировали в почве в течение года с осени 2015 по осень 2016 г. Кроме этого описаны пейзажи городской почвы (п. Краснообск, Новосибирская обл.), полученные в лабораторном опыте длительностью 30 дней.

Микробные пейзажи на предметных стеклах после фиксации окрашивали генцианвиолетом или 5% карболовым эритрозинном при экспозиции стекол 12 часов.

Снимки сделали при помощи микроскопа Primo Star Zeiss с видеокамерой AxioCam 105 color при увеличении x1000 с масляной иммерсией.

Результаты исследований

В мерзлотной палевой почве под лесом (Сорг 4,5%, рН 6) во всех полях зрения присутствовали грибы (рис. 1, 1–4). Судя по особенностям мицелия, основная часть их принадлежала высшим грибам. Грибы активно формировали споры. Бактерий в пейзажах практически не обнаруживалось или встречались очень редко в виде отдельных клеток.

В мерзлотной аласной остепненной почве под остепненным лугом (С орг 5,5%, рН 7) также преобладали грибы на стадии активного спорообразования (рис. 1, 5–8). Однако при этом в условиях недостатка влаги гифы грибов были тонкие, проективное покрытие поля зрения было низкое (не более 10%). На снимках № 6-7 показано характерное для этого варианта

взаиморасположение разных видов грибов. На данном фото тонкие гифы *Verticillium* растут и активно размножаются на более толстых гифах другого гриба. Кроме того, грибы тесно взаимодействовали с бактериями. А именно, клетки бактерий развивались на поверхности живых гиф (№ 8).

В дерново-глеевой почве (Сорг 2,5%, рН 8,5) на луговом поясе аласа проективное покрытие полей зрения гифами грибов составляло не менее 50% (рис. 1, 9–12). Грибы находились на стадии активного образования спор. Бактериальное заселение поверхности гиф было сравнительно высоким.

На стеклах экспонированных в мерзлотной аласной дерново-глеевой почве (Сорг 4% рН 9) на нижнем поясе аласа все поля зрения были заполнены утолщенными гифами грибов и их спорами. Таким образом, микробные пейзажи почв аласной катены визуально различались между собой, будучи отражением особенностей условий почвообразования.

Следующая задача исследований состояла в уточнении основного различия в пейзажах целинной и пахотной почвы.

Как видно из рис.2 (№13-14), в целинной мерзлотной лугово-черноземной почве (Сорг 2–3%, рН 8-9) диаметр гиф был существенно больше, чем в пахотной. Бактерии были представлены в основном в виде организованных колоний, что может быть связано с особенностями распределения органического вещества в виде отдельных локусов. В пахотном аналоге этой почвы (Сорг 1,5–2% рН 8-9) обрастание стекла гифами грибов и клетками бактерий было существенно ниже в сравнении с целинной (рис. 2, 15–16). При этом основное различие вариантов заключалось в том, что только в целинной почве живые гифы грибов были плотно заселены бактериями, то есть мы наблюдали именно сообщество грибов с бактериями, тогда как в пахотной почве взаимосвязь бактерий с грибами была не так очевидна.

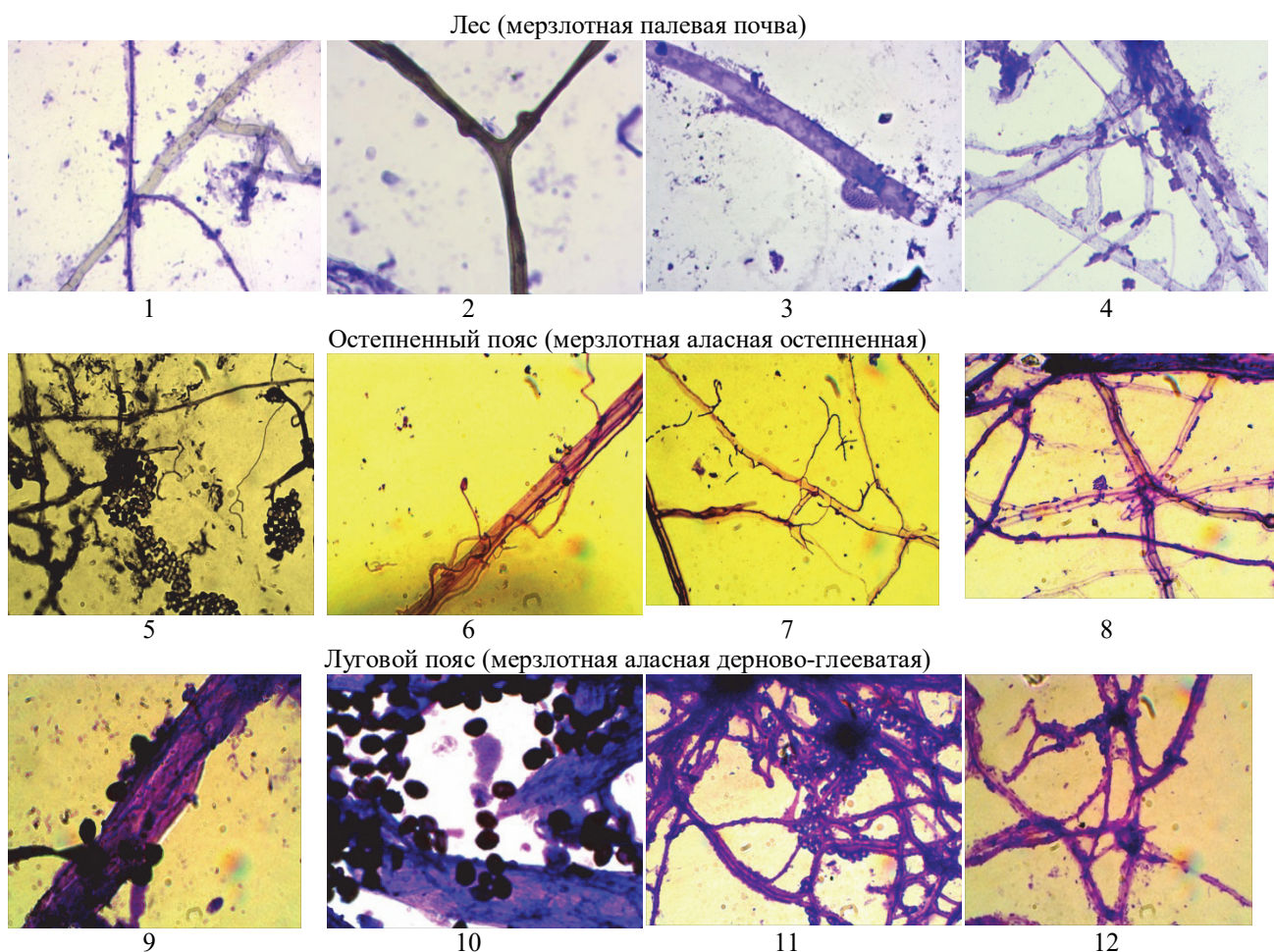


Рис. 1. Микробные пейзажи мерзлотных аласных почв Лено-Амгинского междуречья



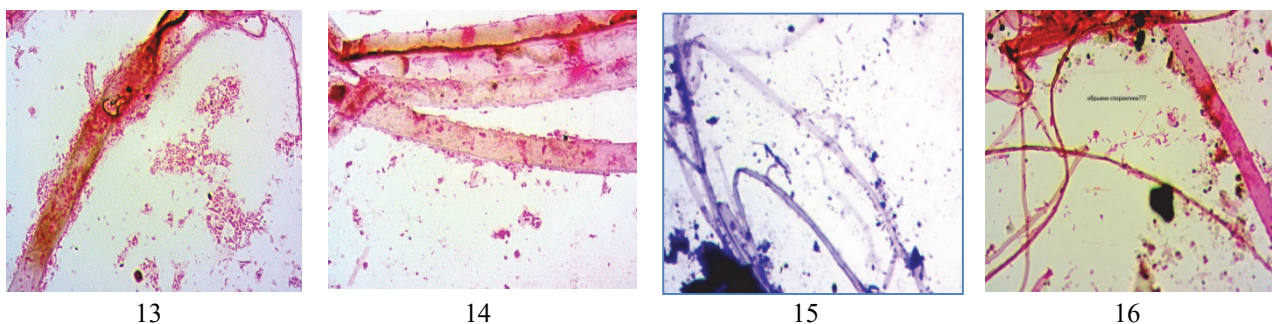


Рис. 2. Микробный пейзаж мерзлотной лугово-черноземной почвы в целинном (№ 13–14) и пахотном (№ 15–16) состояниях

Далее нам удалось воспроизвести микробные пейзажи в условиях лабораторного опыта. Стекла были заложены в почву, которая компостировалась при оптимальных условиях в течение 30 дней. В опыте были задействованы образцы городской почвы с газона с ненарушенным травяным покровом (С орг 3,3 рН 6) и с тропы, образовавшейся на этом же газоне (Сорг 1,9 рН 7), где почва была уплотнена и длительное время находилась без растительного покрова, в результате чего содержание С орг в ней снизилось почти в 2 раза в сравнении с почвой под газоном.

Как видно на рис.3 (№ 17, 18), в пейзажах обоих вариантов опыта отмечаются и грибы, и бактерии. При этом под газоном расположение их имеет сходство с целинной почвой. А именно, гифы грибов густо заселены бактериями. Под тропинкой гифы грибов были без бактериального сопровождения, клетки бактерии были расположены диффузно по всему полю зрения. Интересен отклик пейзажей на внесение растительного материала (рис.3 №19-20). Почва под газоном отреагировала повышением грибного мицелия, как в качественном отношении, так и в количественном. Под тропой отклик был в виде резкого повышения плотности бактериального населения. При этом степень потери массы полотна в исходной почве под газоном составила около 20%, под тропинкой – 80%, при внесении соломы – 0 и 20%, соответственно. Более высокая активность процесса в деградированной почве в сравнении с ненарушенной, вероятно, связана с преобладанием в первой бактериального разложения полотна в условиях относительно низкого отношения С:N.

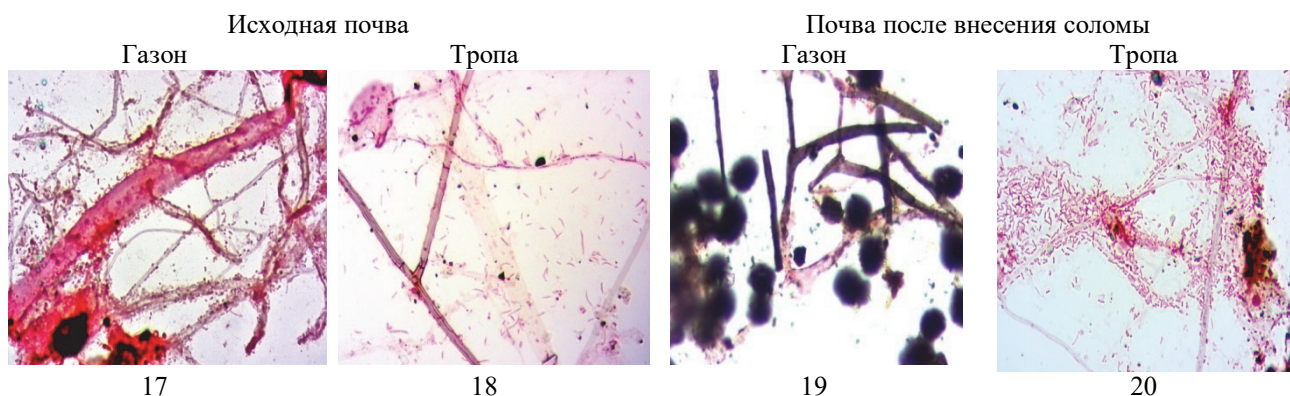


Рис. 3. Визуализация отклика микробного сообщества городской почвы на стресс

Таким образом, наши данные согласуются с известным в почвенной биологии положением о грибах как об основных средообразующих компонентах в почве. При этом, мы получили данные о характере приспособления грибов к основным экологическим факторам. Недостаток влаги в остепненном поясе аласа способствовал низкой плотности обрастания экспонируемых стекол гифами грибов, снижению диаметра гиф и вероятно повышению межвидовой конкуренции. Так, например, представитель рода *Verticillium*, известный как хищник [2] активно растет на живой гифе другого гриба. Далее при относительном повышении влажно-

сти почвы стекла обрастали гифами с большим диаметром, находящимся в активной стадии спороношения. В этих условиях отмечали значительное количество бактерий, растущих на поверхности гиф, то есть наблюдали формирование сообществ при разложении свежего органического вещества. Именно этот факт оказался отличительной чертой микробного пейзажа целинной почвы от антропогенно нарушенной. Важным результатом наших исследований является установленный факт, что микробные пейзажи почв разной степени нарушенности можно воспроизвести в эксперименте, что создает перспективы для разработки новых информативных критериев биоиндикации экосистем.

#### **Выводы:**

1. Микробный пейзаж почвы отражал состояние живой фазы почв, расположенных по аласной катене и расширил наши знания по экологии этих почв
2. Основное различие между целинной и пахотной аналогами мерзлотной почвы заключалось в структуре доминирующих компонентов грибов и бактерий и выразилось в значительном преобладании в ненарушенной почве бактерий на живых гифах грибов
3. Показана возможность изучения микробного пейзажа антропогенно нарушенной почвы в лабораторных условиях, что открывает перспективы для разработки новых информативных способов биоиндикации.

#### **Литература**

1. Рыбалкина А.В., Кононенко Е.В. Активная микрофлора почв // Микрофлора почв Европейской части СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1957.
2. Аристовская Т.В. Микробиология подзолистых почв. М.; Л.: Наука, 1965. 190 с.
3. Паринкина О.М. Микрофлора тундровых почв. Л.: Наука, 1989. 160 с.
4. Данилова А.А., Данилов П.П., Саввинов Г.Н., Гаврильева Л.Д., Петров А.А., Алексеев Г.А. Изменение свойств аласных почв Центральной Якутии при пастбищной дигрессии // Аридные экосистемы. 2013. Т. 19, № 4. С. 25–31.
5. Danilova A.A., Barashkova N.B., Arjakova A.P., Ustinova B. B. Discriminating between biotic and abiotic contributions to CO<sub>2</sub> efflux from permafrost soil// Eurasian Journal of Soil Science. 2014. V. 3, № 3. P. 152–156. DOI: <http://dx.doi.org/10.18393/ejss.07444>

#### **MICROBIAL LANDSCAPES AS INDICATORS OF SOIL CONDITION**

A.A. Danilova<sup>1</sup>, E.V. Naprasnikova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Danilova7alb@yandex.ru

<sup>2</sup> V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk. r.codar@mail.ru

**Summary.** *Microbial landscapes in the catenary range of permafrost alas soils were described. The main difference between landscapes of virgin and arable soils is identified: in virgin soil on the surface of the living hyphae a large number of bacteria were found. We showed the possibility of laboratory reproduction of the soil microbial landscape for the development of new informative methods of bioindication*

**Keywords:** *Permafrost soils, microbial landscapes, laboratory reproduction.*

## ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЬЮ НА ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ПОЧВ АРИДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮГА РОССИИ

Р.М. Дауд, Е.А. Астанина, Н.Ю. Шишко, А.А. Медведева,  
Ю.С. Бонадарева, С.И. Колесников

Академия биологии и биотехнологий им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета,  
Ростов-на-Дону, ramadaoud91@yahoo.com

**Аннотация.** *Одной из распространенных экологических проблем является загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами. В работе исследовано влияние загрязнения нефтью на фитотоксичность почв аридных экосистем юга России. При загрязнении почв аридных экосистем юга России, как правило, наблюдалось снижение интенсивности прорастания редиса. Степень снижения зависела от природы загрязняющего вещества и его концентрации в почве. Как правило, наблюдалась прямая зависимость между концентрацией загрязняющего вещества и степенью снижения длины корней редиса.*

**Ключевые слова:** *загрязнение, нефть, почвы аридных экосистем, фитотоксичность.*

Нефть и нефтепродукты являются наиболее приоритетными загрязнителями окружающей среды из-за их токсичности, распространения и высокой миграционной способности. Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений и нарушение правил транспортировки углеводородов приводят к загрязнению природных экосистем, особенно почвенного покрова.

Наряду с другими нефтедобывающими регионами мира, проблемы загрязнения окружающей среды характерны и для юга России. Территория также является местом важных нефте- и газотранспортных трубопроводов [1].

Информация о токсичности нефти является важным параметром для оценки экологических рисков загрязняющих веществ с помощью биологических испытаний в лаборатории.

В этом контексте использование растений стало более распространенным в экологической токсикологии, поскольку оно имеет тенденцию быть более чувствительным к экологическому стрессу, чем другие живые [2].

**Объекты и методы исследования.** В настоящей работе представлены результаты модельного лабораторного исследования изменения фитотоксичности при загрязнении нефтью почв аридных экосистем Юга России (темно-каштановой, каштановой, светло-каштановой, бурой полупустынной и песчаной почвы), а также чернозема обыкновенного для сравнения. Корректность распространения результатов лабораторного моделирования химического загрязнения почв в натурные условия была доказана предшествующими исследованиями [3].

Использовали верхний слой почвы 0–10 см, так как в непахотных почвах в нем задерживается большая часть загрязняющих веществ.

Нефть вносили в почву в количестве – 1, 5, 10% от массы почвы. Загрязнение почвы нефтью в таких количествах часто встречается в районах нефтедобычи, транспортировки и переработки нефти и даже после ликвидации загрязнения.

Почву инкубировали в вегетационных сосудах при комнатной температуре (20–22°C) и оптимальном увлажнении (60% от полевой влагоемкости) в трехкратной повторности.

Образцы для лабораторно-аналитического исследования отобрали через 30 дней после загрязнения.

Фитотоксичность определяли по изменению показателей прорастания семян (всхожесть) и интенсивности начального роста проростков (длина корней) через 7 суток после загрязнения.

**Результаты исследования.** В результате исследования установлено, что загрязнение почвы аридных экосистем юга России нефтью ведет, в большинстве случаев к снижению показателей фитотоксичности, в частности длины корней (рис. 1).

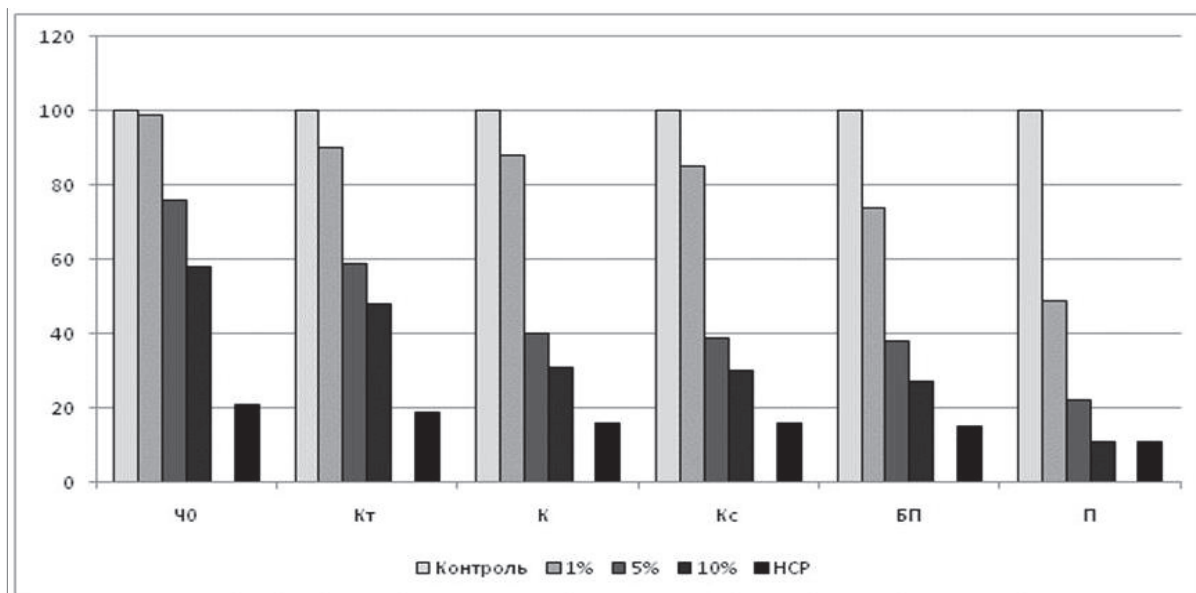


Рис. 1. Влияние загрязнения нефтью на фитотоксичность (длину корней редиса) почв аридных экосистем юга России, % от контроля

Степень снижения биологических показателей зависела от природы загрязняющего вещества и его концентрации в почве. Как правило, наблюдали снижение фитотоксичности с увеличением количества загрязняющего вещества в почве.

Почвы аридных экосистем юга России образуют следующий ряд по степени снижения длины корней редиса при загрязнении нефтью: чернозем обыкновенный > темно-каштановая > каштановая >= светло-каштановая > бурая полупустынная > песчаная.

Схожая последовательность почв сухих степей и полупустынь юга России была зафиксирована при их загрязнении тяжелыми металлами [4].

**Заключение.** Таким образом, большую буферную способность к загрязнению нефтью проявили черноземы обыкновенные, темно-каштановая и каштановая почвы, меньшую – светло-каштановая и бурая полупустынная, и наименьшую – песчаная. Такая последовательность определяется эколого-генетическими свойствами исследованных почв. Чем лучше структура почвы, а, следовательно, и окислительные условия, а также чем выше биологическая активность почвы, тем выше ее устойчивость к загрязнению нефтью.

*Исследование выполнено при поддержке государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-3464.2018.11) и Министерства образования и науки Российской Федерации (5.5735.2017/8.9).*

## Литература

1. Khalilova H.Kh. Study of purification of oil contaminated soils // Russian j. Chemical industry. 2013. V. 90, № 1. P. 45–49 (in Russian).
2. Branzini, A. and Zubillaga, M.S. (2010) 'Assessing Phytotoxicity of Heavy Metals in Remediated Soil', International Journal of Phytoremediation, 12: 4, 335–342, First published on: 09 February 2010 (iFirst).
3. Колесников С.И. Агроэкологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. Ростов-на-Дону, 2001. 329 с.
4. Колесников С.И., Спивакова Н.А., Казеев К.Ш. Влияние модельного загрязнения Cr, Cu, Ni, Pb на биологические свойства почв сухих степей и полупустынь юга России // Почвоведение. 2011. № 9. С. 1094–1101.

## **EFFECTS OF OIL CONTAMINATION ON PHYTOTOXICITY OF SOILS ARID ECOSYSTEMS OF SOUTHERN RUSSIA**

R.M. Daoud, E.A. Astanina, N.Y. Shishko, A.A. Medvedeva, Y.S. Bonadareva, S.I. Kolesnikov

Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov on Don, ramadaoud91@yahoo.com

**Summary.** *One of the most common environmental problems is soil contamination by oil and oil products. The influence of oil pollution on the phytotoxicity of soils of arid ecosystems in the south of Russia was investigated. When polluting soils of arid ecosystems in the south of Russia, as a rule, a decrease in the intensity of radish germination was observed. The degree of reduction depended on the nature of the pollutant and its concentration in the soil. As a rule, there was a direct correlation between the concentration of the pollutant and the degree of decrease in the length of the radish roots.*

**Keywords:** *Pollution, oil, soil of arid ecosystems, phytotoxicity.*

## ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

М.И. Дергачева

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, mid555@yandex.com

**Аннотация.** *Обсуждается состояние экологии почв как самостоятельной науки биосферного класса на данном этапе ее развития и круг основных проблем, которые требуют своего срочного решения*

**Ключевые слова:** *экология почв, теоретические и прикладные аспекты.*

Экология почв – наука новая, несмотря на то, что многие ее положения без отнесения их к понятию «экология почв» в том или ином виде уже рассматривались в почвенной литературе. В настоящее время она находится в стадии развития, основные методологические положения этой науки активно обсуждаются, хотя до сих пор многие теоретические и прикладные аспекты остаются дискуссионными и требуют проведения дополнительных экспериментальных и аналитических исследований, разработки специфических для нее методических подходов к обобщению и интерпретации материалов, выявления и четких формулировок основных законов и решения многих других вопросов.

До недавнего времени понятие «экология почв» в качестве самостоятельного раздела теоретического почвоведения [1–3] или науки биосферного класса со своим объектом, предметом, методами, понятийным аппаратом, теоретическими положениями, законами, т.е. всеми атрибутами самостоятельной науки [4, 5] не имело широкого распространения. Все проблемы и вопросы, относящиеся к экологии почв, были размыты в основном в рамках двух основных разделов теоретического почвоведения – генезиса почв и географии почв, хотя истоки становления самостоятельности этой науки уходят в далекое прошлое – к концу XIX – началу XX века, когда В.В. Докучаев в своих многочисленных работах подчеркивал, что «овладевать почвой и управлять ею с целью чисто практической»; можно только в том случае, если «решить интереснейший вопрос о закономерных соотношениях между характером и распределением почв и факторами-почвообразователями», учитывая «соотношения, ту генетическую вековечную и всегда закономерную связь, какая существует между силами, телами и явлениями, между мертвой и живой природой, между растениями, животными и минеральными царствами...».

В последующие годы происходило накопление материалов, методических разработок, появление новых идей, так, что к концу XX в., благодаря Л.И. Прасолову, В.Р. Волобуеву, И.А. Соколову и другим ученым, были разработаны многие вопросы в рамках экологии почв как раздела теоретического почвоведения. Работами этих исследователей была обоснована самостоятельность экологии почв как учения о закономерных соотношениях между почвой и средой ее формирования или как отрасли почвоведения, специально посвященной выявлению и характеристике закономерных соотношений между почвой и почвообразователями – горной породой, организмами, климатом и рельефом [2, с. 5]. Суть формулировок предмета экологии почв разных авторов, несмотря на их несхожесть, в целом была очень близка и сводилась к выявлению закономерностей соотношения между почвой и средой ее формирования. В ряде работ наблюдалось некоторое расширение основной ее задачи. Так, например, Э Эвальд [6] считал, что основной задачей этого раздела почвоведения должна быть разработка *моделей потоков вещества и энергии* между современными почвами и их средой. Среди основных проблем, решаемых в рамках экологии почв как раздела генетического почвоведения, были и вопросы, связанные с изучением соотношений между почвой и средой, которые возникают при разного рода воздействиях на почву производственной деятельности человека [2].

К концу XX века ученые, занимающиеся проблемами экологии почв как раздела теоретического почвоведения, уже имели в своем распоряжении формулировки основных положений

ний экологии почв, на основе которых были выявлены и описаны закономерности в системе «фактор почвообразования – почвы», в том числе наиболее детально – в системе «климат – почвы». В.Р. Волобуевым [2] была разработана гидротермическая система связи почв с климатом, выделены термо- и гидроряды с определенными грациями тепла и увлажненности, дано термодинамическое обоснование почвенно-фитоклиматических соотношений, а также разработано новое направление в рамках учения об экологии почв – «Энергетика почвообразования» [7]. И.А. Соколов [3] много внимания уделял разработке методологических основ этой науки: предложил понятийно-терминологический аппарат, систему методов, принципов и законов (общих закономерностей) экологии почв. Эта работа была одной из наиболее продвинутых в методологическом отношении. Он убедительно доказал, что термин “экология почв” правомочен, а раздел «экология почв» равноправен с такими разделами почвоведения как «генезис и география почв». И.А. Соколов неоднократно обращал внимание на то, что в отличие от учения о генезисе, экология почв не занимается познанием механизмов формирования почвенных свойств, а в отличие от географии почв, она изучает распределение почв не в реальном географическом пространстве, а в абстрактном многомерном координатном пространстве, где в качестве координат может выступать любое сочетание факторов почвообразования или отдельных их характеристик. Экология почв, подчеркивал И.А. Соколов, в рамках теоретического почвоведения может рассматриваться как связующее звено между учением о генезисе и учением о географии почв и «есть все основания считать, что теоретической базой современного почвоведения является неразрывное единство трех самостоятельных разделов: учения о генезисе почв, учения об экологии почв и учения о географии почв... Единство этих трех разделов и составляет ядро фундаментального почвоведения, на котором базируются все прикладные его ветви» [3, с. 64–65].

Интерес к вопросам, составляющим суть экологии почв, особенно возрос, когда Г.В. Добровольский и Е.Д. Никитин [8] разработанное ими учение об экологических функциях почв стали рассматривать как раздел экологии почв, выделив наряду с ним также факторную экологию почв, созданную трудами Л.И. Прасолова, В.Р. Волобуева, И.А. Соколова и других ученых. Последняя давала возможность изучения почвы как «черного ящика», а закономерности ее внутренних превращений оказывались за пределами интересов этого раздела науки.

Развитие и совершенствование методологии науки в целом, появление системного подхода к анализу сложных природных систем, признание возможности рассматривать в рамках экологии взаимоотношения с окружающей средой не только живого, но и любого объекта в центре с живым (каковым является почва как естественно-историческое тело), понимание роли почвоведения, экологии и ряда других естественно-исторических наук в функционировании и поддержании устойчивости биосферы в целом, выделение их в систему наук биосферного класса [9] обусловило возможность рассмотрения экологии почв как самостоятельной науки, охватывающей более широкий круг вопросов, определяющих ее предмет.

Именно поэтому нами [4, 5] было предложено рассматривать экологию почв как науку биосферного класса, направленную на изучение закономерностей функционирования почвы как экологической системы в биосфере, поскольку почва является природной открытой саморегулируемой биокосной системой, представляя собой целостное естественноисторическое тело в центре с живым (живая фаза). Последнее дает основание, согласно Н.Ф. Реймерсу и А.В. Яблокову [10], рассматривать ее с позиций функционирования природных экологических систем. Понятие объекта и предмета экологии почв должно быть сформулировано в этом случае следующим образом.

Объект – структурно-функциональная организация почвы как системы биосферного типа, т.е. открытой природной саморегулируемой системы, являющейся подсистемой биосферы.

Предмет – познание структурно-функциональной организации почвы, ее обусловленности и связей с внешними факторами среды или общие законы функционирования почвы как системы биосферного типа. Эта наука, каковых бы аспектов она ни касалась, несомненно, занимает достойное место в системе теоретических разделов почвоведения, которое также в свою очередь является наукой биосферного класса [5].

Почва, являясь биокосным телом или биокосной экологической системой и представляя в целом естественно-историческое тело природы, которое обменивается веществом, энергией и информацией с внешней по отношению к ней средой, подчиняется законам функционирования экосистемы, к которой она принадлежит, и биосферы в целом. И поэтому необходимо изучать внутреннее единство, внутренние причинные связи ее как системы и внешний обмен веществом и энергией почвы с окружающей средой, в том числе с факторами почвообразователями или отдельными их характеристиками.

Таким образом, экологию почв можно определить как науку о закономерностях функционирования почв в биосфере. И, как подчеркивал И.А. Соколов [3], она не занимается вопросами механизма почвообразования (генезис), но *изучает законы “включения”* механизмов образования почв, т.е. причины проявления тех или иных процессов и формирования почвенных свойств, а также *причины*, обуславливающие особенности пространственного распределения почв в реальном географическом пространстве.

Экология почв, как и другие науки об экосистемах, должна решать проблемы, связанные не только с веществом-энергетическим обменом почв с окружающей их средой (внешние связи), но и изучать закономерности процессов обмена вещества, энергии и информации внутри почвы (внутренние связи) и устанавливать законы функционирования почв в биосфере. И, безусловно, еще одной проблемой, которая должна решаться в рамках экологии почв [8] является познание закономерностей выполнения почвами функций разного уровня в биосфере.

Таким образом, в экологии почв можно выделить три самостоятельных теоретических раздела: факторную экологию почв, изучающую внешние связи почв как экологических систем, раздел, изучающий внутренние связи в почвах, выявляющий причины и направленность процессов, происходящих в почвах как системах (представляется, что этот раздел мог нести название «экологическое почвоведение»), и учение об экологических функциях.

Методологической основой изучения внешних связей почвы как экологической системы могут служить разработки Г. Иенни, В.Р. Волобуева, И.А. Соколова, М.И. Дергачевой, а также работы, рассматривающие некоторые частные вопросы, относящиеся к экологии почв [11–13].

В качестве методологической основы изучения внутренних связей в почве как экосистеме за основу могут быть использованы подходы А.А. Ляпунова и А.А. Титляновой [14], разработанные ими для изучения круговорота вещества и энергии в биогеоценозах.

Активно развивающийся раздел экологии почв – учение о функциях почв в биосфере – еще требует обобщения, выработки универсальных методических подходов к их изучению, а также определения основных методологических подходов и интерпретации материалов исследования. Пока идет активное накопление данных, относящихся к характеристике всех выделенных Г.В. Добровольским и Е.Д. Никитиным [8] функций почв.

Становление и развитие экологии почв как самостоятельной науки ставит ряд проблем, решение которых будет способствовать окончательному определению ее места в системе разделов теоретического и прикладного почвоведения и естественно-исторических наук в целом, Некоторые из них были сформулированы ранее [5], большинство до сих пор не потеряли свою актуальность.

Прежде всего, развитие экологии почв требует усовершенствования вопросов, относящихся к методологической основе этой науки: однозначное определение ее объекта и предмета, приведение в соответствие с потребностями этой науки терминологического аппарата (поскольку она является наукой абстрактных, а не реальных, конкретных понятий), поиск новых приемов сжатия информации (поскольку решение вопросов в рамках экологии почв требует очень больших статистически значимых материалов), разработка принципов и правил интерпретации материалов, выявление общих закономерностей функционирования почв как системы, законов экологии почв, которая, напомним, призвана решать вопросы, связанные с *причинной обусловленностью* элементарных процессов почвообразования и распределения почв в географическом пространстве. Одной из самых сложных задач экологии почв является проблема описания и формулировки общих и частных законов существования почв в экологическом пространстве.



Для успешного решения как теоретических, так и прикладных проблем в рамках экологии почв требуется наличие базы данных, отвечающей задачам экологии почв (где ключом является не тип почв, а свойство педона), которая бы способствовала установлению эколого-почвенных связей на количественном уровне (с учетом региональной и локальной специфики ландшафтных зон), а также поиску удобных и легко реализуемых моделей этих взаимосвязей.

Среди актуальных проблем экологии почв можно также выделить комплекс вопросов, связанных с изучением и использованием знаний об экологических функциях почв и их отдельных компонентов, нарушении функций при антропогенезе, сохранения почвой ее экологических функций на уровне, обеспечивающем устойчивость экосистем при разной интенсивности и длительности антропогенных воздействий с учетом специфики природной среды и хозяйственных мероприятий.

Кроме уже указанных проблем, связанных с ролью экологии почв в решении прикладных задач, необходимо акцентировать внимание на еще одной ее значимости как основы разрабатываемого учения о сохранении почв, которое Г.В. Добровольским и Е.Д. Никитиным [8] выделено в самостоятельный раздел экологии почв. Практика эксплуатации природных ресурсов, к каковым относится и почва, требует наличия научно-обоснованной системы приемов рационального использования и охраны почв, которые являются узлом связей всех компонентов биосферы и определяют ее устойчивость.

Таково состояние экологии почв на данном этапе ее развития и круг основных проблем, которые требуют своего срочного решения.

### Литература

1. Прасолов Л. И. Генезис, география и картография почв. М.: Наука, 1978. 263 с.
2. Волобуев В. Р. Экология почв. М.: Изд-во АН АзССР, 1963. 549 с.
3. Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. М.: Наука, 1993. 232 с.
4. Дергачева М.И. Экология почв: итоги, проблемы, перспективы // Известия Урал.гос. ун-та. 2002. № 23. С. 53–61.
5. Дергачева М.И. Экология почв: становление новой науки биосферного класса // Сибирский экологический журнал. 2009. № 2. С. 143–150.
6. Эвальд Э. О взаимоотношении исследований в области генезиса и экологии почв (на примере изучения органического вещества) // Почвоведение. 1972. № 2. С. 22–28.
7. Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования. М.: Наука, 1974. 128 с.
8. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. М.: Изд-во МГУ, 2006. 245 с.
9. Тюрюканов А.Н., Федоров В.М. Н.В. Тимофеев-Ресовский: биосферные раздумья. М., 1996. 368 с.
10. Реймерс Н.Ф., Яблоков А.В. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы. М.: Наука, 1982. 144 с.
11. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. М.: Изд-во МГУ, 1993. 184 с.
12. Роль почв в биосфере. М.: МГУ, 2010. Вып. 10. 236 с.
13. Иенни Г. Факторы почвообразования. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1948. 347 с.
14. Ляпунов А.А., Титлянова А.А. О некоторых вопросах кодирования и передачи информации в управляющих системах живой природы. Новосибирск, 1971. С. 150–188.

### ECOLOGY OF SOILS: THE THEORETICAL AND APPLIED ASPECTS

M.I. Dergacheva

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, mid555@yandex.com

**Summary.** *The state of the ecology of soils as an independent science at the recent stage of its development and the range of general problems that require its urgent solution is discussed.*

**Keywords:** *soil ecology, theoretical and applied aspects.*

## ЦЕЗИЙ-137 В ПОЧВЕННО-МОХОВОМ ПОКРОВЕ КАК ИНДИКАТОР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В СОПРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Д.И. Долгушин<sup>1</sup>, Е.М. Коробова<sup>1</sup>, В.Ю. Березкин<sup>1</sup>, С.Л. Романов<sup>2</sup>,  
В.С. Баранчуков<sup>1</sup>, С.С. Киров<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ГЕОХИ РАН, Россия, baranchukov.v@gmail.com; dolgu-denis@yandex.ru

<sup>2</sup> УП «Геоинформационные системы», Беларусь, Минск

<sup>3</sup> ИГКЭ Роскомгидромета и РАН, Россия, s\_kirov@rambler.ru

**Аннотация.** Детальное исследование активности радиоцезия в почвенно-моховом покрове сопряженных элементарных ландшафтов в пределах тестовой площадки «Вышков-2» (Брянская область, Новозыбковский район), подтвердило прочную фиксацию Cs-137 в верхних горизонтах дерново-подзолистых песчаных почв и моховом покрове. Более 30 лет после аварии на ЧАЭС основной запас радиоцезия находится в верхних 10–15 см, при этом максимум радиоцезия (около 80%) наблюдается на глубине 2–8 см, что связано главным образом с погребением первично загрязненного поверхностного слоя. Подтвержден факт циклического варьирования активности радиоцезия в сопряженных элементарных ландшафтно-геохимических системах типа: вершина-склон-закрывающее понижение, что не отвечает схеме простой однонаправленной миграции загрязнителя вниз по склону.

**Ключевые слова:** Cs-137 (радиоцезий), мхи, почвы, латеральная вертикальная миграция.

Крупнейшая радиационная авария на Чернобыльской АЭС в 1986 году привела к выбросу в атмосферу значительного количества радиоцезия (более 2,3 МКи) [3]. В Российской Федерации к наиболее загрязненным территориям с плотностью загрязнения радиоцезием более 15 Ки/км<sup>2</sup> относится Брянская область. Наиболее загрязненные города Брянской области – Новозыбков (20,9 Ки/км<sup>2</sup>), Клинцы (8,8 Ки/км<sup>2</sup>) [1].

Для детального мониторинга миграции радионуклидов в природных экосистемах в начале 90-х годов прошлого века Российским научно-практическим и экспертно-аналитическим центром при Госкомчернобылена территории Брянской области было заложено 19 тестовых площадок. Для более полноценного и качественного мониторинга, были выбраны наиболее загрязненные радионуклидами участки с разными типами почв, растительностью, рельефом и увлажнением [6]. Детальные исследования проводились до 1994 г.

С 2005 года на одной из площадок («Вышков – 2») на площади 70x100 м сотрудниками лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН проводится ежегодный детальный мониторинг с целью изучения закономерностей вторичного перераспределения Cs-137 в условиях выраженного рельефа, результаты которого отражены в ряде публикаций [4, 5, 12, 13].

Тестовая площадка «Вышков-2» расположена на первой террасе реки Ипуть в сосновом лесу, имеет высокий уровень загрязнения и выраженный рельеф, что позволяет детально исследовать роль последнего в перераспределение радиоцезия с учетом относительной высоты каждой точки измерения. Значительные площади заняты моховым покровом. Преобладают мхи видов – *Pleurozium schreberi*, *Dicranum polysetum*, *Polytrichum commune*. Почвенный покров представлен дерново-подзолистыми песчаными иллювиально-железистыми почвами. Некоторые изменения в морфологии почв, связаны со степенью проявления оподзоливания и аккумуляции гумуса. Характерно наличие выраженного слоя подстилки и гумусового горизонта, что существенно для фиксации и перехода радиоцезия в растения. По данным некоторых авторов при повышении содержания гумуса в почве происходит снижение поглощения Cs-137 растениями. В описаниях разрезов, заложенных ранее (1991 г., С.А. Овечкин, В.А. Девярых, Почвенный институт им. В.В. Докучаева), отмечены включения древесного угля, что позволило предположить факты старых лесных пожаров.

Оценка и прогнозирование уровней загрязнения природных экосистем, а также мониторинговые работы предполагают использование биологических индикаторов. Мхи чрезвычайно широко распространены в разных географических зонах, являясь неотъемлемой частью растительного покрова. Мхи играют существенную роль в формировании почвенного покрова обширных территорий, они оказывают влияние на процессы фиксации и вторичного перераспределения радиоцезия в ландшафтах. Учитывая значительную продолжительность жизни мхов (2–10 лет), и их свойство депонировать в тканях первичные выпадения, можно утверждать, что снижение содержания радиоцезия в этих организмах (в отличие от других компонентов биоты), происходит весьма медленно. Имеется также возможность вторичного поступления радионуклида через базальную часть растения. Первичное накопление мхами Cs-137 произошло вследствие выпадений при аварии на ЧАЭС [2, 8, 9, 10]. Ввиду всего вышесказанного, в наших исследованиях целесообразно использовать мхи, для изучения накопления и перераспределения радионуклида в растительном покрове сопряженных ЭЛГС.

В данной работе обсуждаются результаты анализа данных, полученных в 2015–2016 гг. по двум ортогонально расположенным ландшафтно-геохимическим профилям.

Целью работ было исследование характера перераспределения радиоцезия в зависимости от мезо- и микрорельефа.

**Методы исследования.** Профиль D-21 заложен в 2015 г. поперёк ложины, между двух наиболее высоких точек и характеризуется двумя сопряженными элементарными геохимическими системами.

В 2016 г. заложен второй профиль D-22, который берет начало на вершине склона и пересекает профиль D-21 под углом 60 градусов. Такое расположение профиля позволяло оценить процессы вторичной миграции радиоцезия по склонам.

Заложение профилей сопровождалось определением местоположения точек с помощью топопривязки и фиксации превышений (высоты) с использованием теодолита DJD-2.

Измерение поверхностной активности радиоцезия в почвенно-моховом покрове проводилась в каждой точке опробования с шагом 1 м, с помощью гамма-спектрометра Violinist-III (USA) до и после отбора проб мха [11].

В точках измерения поверхностной активности отбирались образцы мха и опадас помощью металлического кольца диаметром 15 см до верхнего горизонта почвы. Определялся вид доминантного мха (*Pleurozium schreberi*, *Dicranum polysetum*, *Polytrichum commune*) и его высота произрастания, поскольку мощность верхнего органогенного слоя варьировала в пределах профиля.

В ряде точек для оценки вертикальной миграции Cs-137 производился отбор почвенных кернов. Пробоотбор осуществлялся с помощью ручного бура без нарушения структуры почвы до глубины 40 см с последующим послойным разделением кернов для определения содержания Cs-137 в профиле почв с шагом 2 см (до глубины 20 см) и 5 см (на глубине от 20 до 40 см). Всего было отобрано 14 кернов, включающих 196 индивидуальных образцов.

Определение Cs-137 в образцах кернов почв и мхов было осуществлено в лабораторных условиях на гамма-спектрометре Canberra с детектором из сверхчистого германия. Обработка данных и построение графиков выполнялась в программе MS Excel.

**Результаты.** Экспериментальная проверка гипотезы о влиянии мезорельефа, которая предполагала, что через 30 лет после аварии максимальное содержание Cs-137 будет обнаружено в нижней части склона по тальвегу как в почвах, так и во мхах не подтвердилась. Характер распределения радиоцезия в почвенно-моховом покрове не отвечал схеме простой миграции радионуклида вниз по склону и, т.о., не может быть объяснен перманентным односторонним поверхностным смывом.

Поверхностная активность Cs-137, измеренная с шагом 1 м, не выявила существенного накопления радионуклидов в нижних частях склонов, но показала циклический характер перераспределения Cs-137. Эта особенность была отмечена ранее вдоль других профилей, характеризующих сопряженные элементарные ландшафты тестовой площадки «Вышков-2» [12, 13]. Циклическая закономерность заключалась в 2-кратном варьировании поверхностной ак-

тивности Cs-137 с шагом ритмичности в 1–3 м. При этом повышение активности радиоцезия было обнаружено как в точках, расположенных в нижних частях склонов, так и на повышенной части тальвега. Анализ вертикального распределения радиоцезия в почвенных ядрах показал, что большая часть этого радионуклида (около 80%) по-прежнему повсеместно фиксируется в верхнем слое почвы мощностью 10–15 см. Наибольшая активность радиоцезия при этом обнаружена в слое глубиной от 2 до 8 см. Это связано в основном с захоронением загрязненного слоя под опадом (рис. 1).

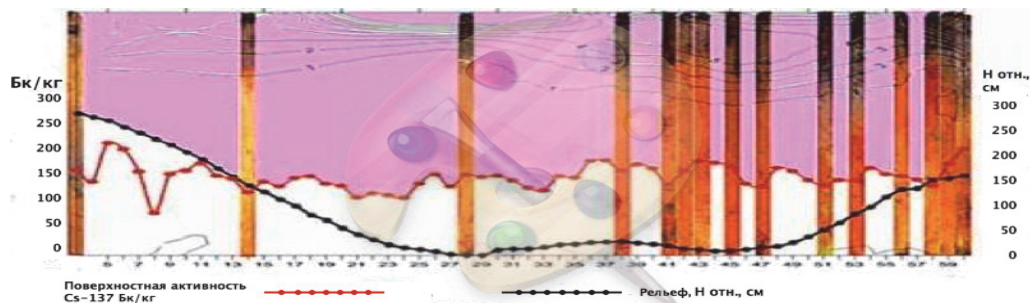


Рис. 1. Варьирование поверхностной активности и вертикальное распределение Cs-137 в почвенных ядрах по профилю D-21 (2015 г.)

Коэффициент корреляции между поверхностной активностью и содержанием радиоцезия в верхних горизонтах ядер варьировал от 0,5 до 0,7 при максимальной корреляции с верхним слоем почвы 0–2 см ( $r_{0,01}=0.643$ ;  $n=15$ ). Пики значений поверхностной активности и содержания радиоцезия в зеленой части мха в большинстве случаев совпадали. Содержание радиоцезия в зеленой части мха в наибольшей степени коррелировало с его активностью в почвенном слое глубиной 4–6 см ( $r_{0,05}=0.627$ ;  $n=15$ ) (рис. 2, а).

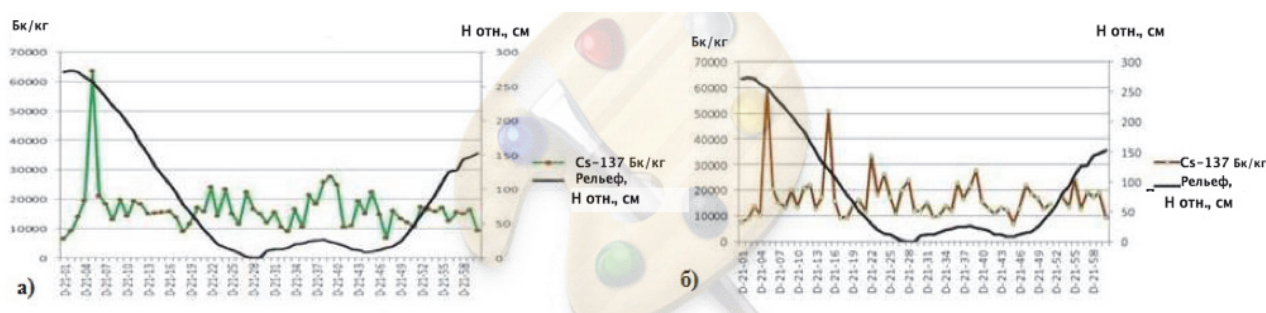


Рис. 2. Содержание радиоцезия вдоль профиля D-21: а) в зелёной части мха, б) в бурой части мха

Более низкие значения Cs-137 в зеленой части мха также наблюдались в разных положениях мезорельефа: на вершине холма, нижней части склона и на тальвеге балки. В большинстве случаев варьирование содержания радиоцезия в зеленых и бурых частях мхов было пропорциональным (рис. 2, б). Это подтверждается значительным коэффициентом корреляции, полученным по всем точкам отбора мхов ( $r_{0,01} = 0.718$ ;  $n = 60$ ).

В опаде пики значений находятся на вершинах склонов и на повышенной части тальвега (Рис. 3). Коэффициент корреляции между активностью радиоцезия в зеленой части мха и опаде, также был значимым ( $r_{0,01}=0.617$ ;  $n=60$ ). Корреляция между бурой частью мха и опадом оказалась ниже ( $r_{0,01}=0.402$ ;  $n=60$ ).

Профиль D-22 заложен по борту ложбины и пересекает профиль D-21 под углом 60 градусов. На некоторых точках моховой покров отсутствовал, поэтому был отобран только опад. Вдоль этого профиля наблюдался аналогичный циклический характер перераспределения Cs-137. Коэффициент корреляции между активностью Cs-137 в бурой и зеленой частях мхов был довольно высоким ( $r_{0,01}=0.754$ ;  $n=11$ ), а между Cs-137 в бурой части мха и опаде составлял ( $r_{0,01}=0.404$ ;  $n=11$ ). Здесь можно отметить тенденцию увеличения активности Cs-137 и ее амплитуды в некоторых образцах мха вниз по склону (рис. 4).

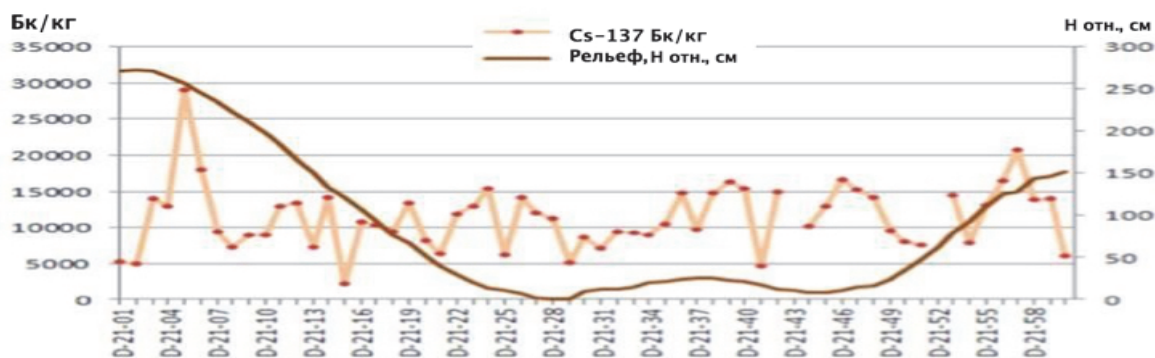


Рис. 3. Содержание радиоцезия в опадении вдоль профиля D-21 (Бк/кг)

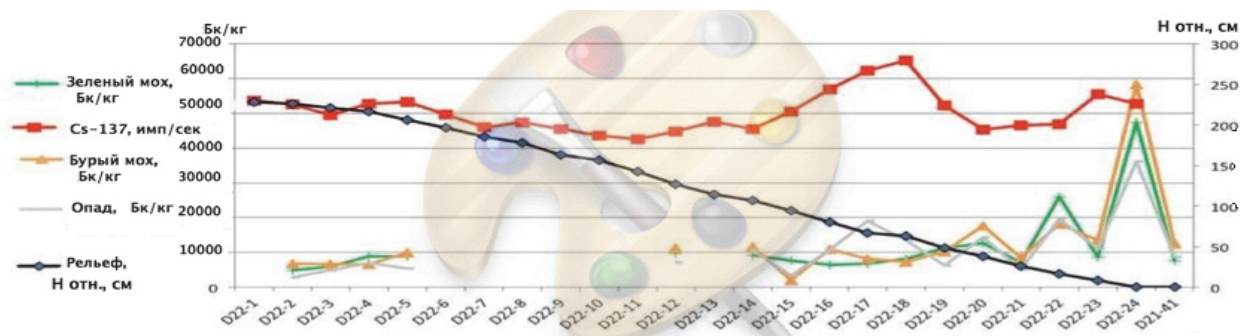


Рис. 4. Содержание радиоцезия в зеленой, бурой части мха и опадении вдоль профиля D-22 (Бк/кг)

**Выводы.** Подтверждена прочная фиксация Cs-137 в верхних горизонтах дерново-подзолистых песчаных почв и моховом покрове. Через 30 лет после аварии на Чернобыльской АЭС, основное содержание радиоцезия находится в верхнем 10–15 см слое почвы, а наибольшая активность Cs-137 наблюдается в слое почвы глубиной от 2 до 8 см, что связано главным образом с погребением загрязненного поверхностного слоя под ежегодным опадом. Подтвержден факт циклического варьирования активности радиоцезия в почвах сопряженных элементарных ландшафтно-геохимических систем и установлен аналогичный циклический характер накопления радионуклида в моховом покрове, что не отвечает схеме односторонней миграции загрязнителя вниз по склону.

### Литература

1. Атлас радиоактивного загрязнения европейской части России, Белоруссии и Украины. / Разработан в Институте глобального климата и экологии Росгидромета и РАН под научным руководством академика Ю.А. Израэля. М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1998. 143 с.
2. Жизнь растений: в 6 т. / гл. ред. Ал. А. Фёдоров. М.: Просвещение, 1978. Т. 4: Мхи. Плауны. Хвощи. Папоротники. Голосеменные растения / под ред. И.В. Грушвицкого и С.Г. Жилина. 447 с.
3. Израэль Ю.А., ДеКорт М., Дюбуа Г., Фридман Ш.Д., Герменчук М.Г., Янссенс А. Атлас загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии. 1998. 19 с.
4. Коробова Е.М., Романов С.Л., Берёзкин В.Ю. Особенности пространственного распределения Cs-137, K-40 и стабильного йода в почвах супераквальных ландшафтов поймы р. Ипуть // Материалы IV международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». Томск: STT, 2013. С. 140–145.
5. Коробова Е.М., Романов С.Л., Киров С.С., Берёзкин В.Ю., Баранчуков В.С. Пространственное распределение Cs-137 в элементарных ландшафтно-геохимических системах долины р. Ипуть (Брянская область). Материалы V международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». Томск: STT, 2016. С. 345–349.
6. Линник В.Г., Кувылин А.И., Кузьмичев В.Н., Коробова Е.М. Организация баз данных радиоэкологической информации на территорию экспериментального полигона в Брянской области // Радиация и риск, 1993. С. 121–128.

7. Линник В.Г., Хитров Л.М., Коробова Е.М. Принципы ландшафтно-геохимического и радиоэкологического картографирования территорий, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС (Проект РАДЛАН). М., 1991. С. 1020–1029.

8. Нифонтова М.Г. Биоиндикация радиоактивного загрязнения среды // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Томск, 1996. С. 382–384.

9. Нифонтова М.Г., Алексашенко В.Н. Содержание Sr-90 и Cs-137 в грибах, лишайниках и мхах из ближней зоны Чернобыльской АЭС // Экология. 1992. С. 26–30.

10. Нифонтова М.Г., Молчанова И.В., Боченина Н.В. Накопление и закрепление Sr-90 и Cs-137 мохово-лишайниковой растительностью // Проблемы лесной радиоэкологии М.: Гидрометеоздат, 1979. С. 103–106.

11. Романов С.Л., Коробова Е.М., Самсонов В.Л. Опыт применения модернизированного прибора VIOLINIST-III в полевых радиоэкологических исследованиях // Ядерные измерительно-информационные технологии. 2011. С. 56–61.

12. Korobova E., Romanov S. Experience of mapping spatial structure of Cs-137 in natural landscape and patterns of its distribution in soil toposequence // Journal of Geochemical Exploration, 2011. P. 139–145.

13. Korobova E.M., Romanov S.L. A Chernobyl <sup>137</sup>Cs contamination study as an example for the spatial structure of geochemical fields and modeling of the geochemical field Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2009. P. 1–8.

### **Cs-137 IN SOIL-MOSS COVER AS AN INDICATOR OF REDISTRIBUTION OF AERIAL POLLUTANTS IN CONJUGATED ELEMENTARY LANDSCAPE-GEOCHEMICAL SYSTEMS**

D.I. Dolgushin<sup>1</sup>, E.M. Korobova<sup>1</sup>, V.Yu. Berezkin<sup>1</sup>, S.L. Romanov<sup>2</sup>, V.S. Baranchukov<sup>1</sup>, S.S. Kirov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> GEOKHI RAS, Russia, dolgu-denis@yandex.ru

<sup>2</sup> UE «Geoinformation Systems», Belarus, Minsk

<sup>3</sup> IGKERoscomGidrometand RAS, Russia, s\_kirov@rambler.ru

**Summary.** *A detailed study of Cs-137 activity in soil and moss cover in the test site Vyshkov-2 (Bryansk oblast', Novozybkov region) along two cross-sections D-21 (2015) and D-22 (2016) has confirmed a strong fixation of this radionuclide in the upper soil horizons and its concentration in moss cover more than 30 years after the initial aerial contamination due to the Chernobyl accident. Analysis of the soil cores showed that the main radiocesium inventory is still retained in the upper 10-15 layer of the soddy-podzolic sandy soils with maximum activity values found at the depth of 2 to 8 cm believed to be mainly due to burial of the initially contaminated surface layer under tree fall and litter. Experimental data of 2015-2016 has confirmed a cyclic variation of Cs-137 surface activity in toposequence of the conjugated elementary landscape-geochemical systems (top-slope-closing depression) that does not correspond to a simple downslope migration pattern.*

**Keywords:** *Cs-137, mosses, soils, lateral distribution, vertical migration.*

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПАВОДКОВЫХ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ ВЗВЕСЕЙ И БОЛОТНЫХ ВОД ВЕСЕННЕЕ-ЛЕТНЕГО РАЗЛИВА

Т.Т. Ефремова, С.П. Ефремов, Н.В. Мелентьева

Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, efr2@ksc.krasn.ru

**Аннотация.** Паводковые воды вышележащей плащевой системы олиготрофных и олиго-мезотрофных болот, сбрасываемые в весенне-летний период в древнюю ложбину стока (Еловочное болото), сильнее минерализованы, содержат больше азота, фосфора и органических веществ фульватной природы по сравнению с почвенно-грунтовыми водами, питающими болотный массив. Взвеси (дисперсная фаза водного потока) – это суспензии частиц торфа и главным образом органические коллоиды фульватно-гуматной природы, обогащенные азотом, железом, кальцием, марганцем и цинком.

**Ключевые слова:** паводковые воды, дисперсные коллоидные частицы, химический состав, мезотрофное болото.

Вода является наиболее активным веществом и важнейшим экзогенным фактором преобразования геохимической и физико-географической оболочки Земли и прежде всего болотных экосистем, важная биосферная функция которых не подвергается в настоящее время сомнению. Болота являются вместилищем огромных запасов пресной воды и представляют собой единственный компонент природных ландшафтов, в котором идет глобальный процесс накопления ценного органического вещества на поверхности суши в современную геологическую эпоху. Болотная растительность, консервируя потоки CO<sub>2</sub> в толще залежи, способствует снижению эффекта потепления глобального климата. Живой растительный покров на болотах является весьма чутким реагентом на среду обитания, любые преобразования в которой наиболее тесно связаны с изменением водного режима: проточностью вод, уровнем почвенно-грунтовых вод, амплитудой их колебаний и химическим составом.

Болотные воды, подобно большинству реальных субстанций окружающего мира, являются гетерогенными дисперсными системами, содержащими как истинно растворимые соединения, так и взвеси, суспензии, высокодисперсные коллоидные системы (золи) и разнообразные растворы высокомолекулярных соединений. И если ионный состав и степень минерализации вод в определенной мере изучены, то химические особенности взвесей твердых частиц, мигрирующих в потоке болотных вод, практически не затронуты исследованиями. Цель настоящего сообщения – восполнить в определенной мере этот пробел на примере мезотрофного лесоболотного комплекса Западной Сибири, где болота являются господствующими компонентами природных экосистем.

**Объекты и методы исследований.** Изучали Еловочное болотное урочище, расположенное в южнотаежной подзоне Западной Сибири. Это один из самых крупных лесоболотных массивов междуречья Оби и Томи общей площадью около 2,3 тыс. га., образованный группой гидравлически связанных торфяных болот. Его извилистые суходольные борта, обрамленные песчаными гривами и полого-холмистыми увалами высотой от 2,5–3 до 14–16 м и более, заняты преимущественно сосняками лишайниково-зеленомошными, зеленомошно-брусничными и зеленомошно-травяными.

Непосредственным объектом исследования стало Большое Еловочное болото – одно из составных частей Еловочного болотного урочища. В своей верхней (истоковой) части оно контактирует с крупной плащевой системой олиготрофных и олиго-мезотрофных Цыгановых болот площадью около 5 тыс. га. Воды, собираемые этой системой, сбрасываются в гипсометрически нижележащее урочище. К настоящему времени здесь сформировалась локально обособленная внутриболотная гидрографическая сеть, стержневым элементом которой является русло речки Еловка.

В период весеннего половодья внутриболотная речка, промоины и ручьи, как правило, переполняются и сливаются в единый поток. Слой воды может составлять от 35–40 до 70–80 см выше поверхности торфяного массива. С потоками болотных вод поступает значительное количество растворенных органо-минеральных соединений, коллоидов и разнообразных механических взвесей. Внешне это проявляется в ежегодном поверхностном осаждении тонкодиспергированного наилка и торфяной крошки на площади весенне-раннелетнего разлива талых вод.

Химический анализ болотных вод выполнен в период продолжительного весенне-летнего половодья: паводковые воды ещё в середине июля стояли на 50–60 см выше поверхности торфяного массива вблизи русла внутриболотной речки Еловка. Взвешенные части в составе водных потоков отбирали в июле путем фильтрации болотных вод через плотную хлопчатобумажную ткань непосредственно на объекте. Химический анализ болотных вод и взвесей выполнен по общепринятым руководствам в практике гидрохимических и почвенных исследований [1–3].

**Обсуждение результатов.** Водное питание изучаемого болотного массива осуществляется слабоминерализованными почвенно-грунтовыми водами, атмосферными осадками и поверхностным притоком с более возвышенных окружающих территорий, включая паводковые (полюе) воды.

Болотные воды в пределах торфяного массива по классификации [4] относятся к классу слабокислых, семейству ультрапресных, к роду богатых растворённым органическим веществом (табл. 1, 2).

Т а б л и ц а 1

Ионный состав поверхностных вод мезотрофного болота в период весенне-летнего половодья, мг/л

Место отбора проб вод	M <sup>1)</sup>	рН	Анионы			Катионы		
			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>
Контактная зона								
Суходол–болото	33,2	3,8	нет	1,4	2,4	7,3	2,2	19,9
Березняки вдоль береговой линии внутриболотной р. Еловка. Расстояние от русла речки:								
70–100 <sup>2)</sup>	60,1	5,2	12,2	1,7	3,5	20,0	6,2	16,5
100–140 м	52,3	4,3	9,1	1,5	9,6	12,7	3,3	16,1
140–190	28,6	4,0	нет	1,8	2,7	9,1	3,3	11,7
190–230	24,8	4,0	нет	1,7	2,9	9,1	3,3	7,8
230–270	21,8	4,0	нет	1,4	2,5	8,2	2,7	7,0
Открытая, не затопленная центральная часть болота								
Мочажина, верховодка	15,4	3,8	нет	1,0	2,1	5,5	2,2	4,6

<sup>1)</sup> минерализация, <sup>2)</sup> ближе к руслу внутриболотной речки торфяной массив не проходимо из-за высокого уровня паводковых вод.

Паводковые воды прирусловой части болота несколько более минерализованы и имеют менее кислую реакцию. По мере приближения к центру болотного массива степень минерализации вод относительно прирусловой зоны снижается почти в 4 раза. В составе катионов доминируют Ca<sup>2+</sup> и Fe<sup>2+</sup>. Железо превалирует в контактной зоне «суходол–болото» и на 190-метровой полосе вдоль русла, заметно снижаясь в водах центральной, не затопленной паводковыми водами части болота. Содержание анионов SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> – незначительно, ион HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> вследствие кислой реакции среды (рН < 4) в основном отсутствует и появляется в поверхностных водах, в которых величина рН превышает указанную величину. Ведущим ингредиентом как паводковых, так и почвенно-грунтовых вод являются фульвокислоты, которые составляют 80–97% от суммы водорастворимого углерода, определяя высокую цветность вод мезотрофного болота. Поверхностные воды весенне-летнего паводка в 2–5 раз выше, чем почвенно-грунтовые обогащены азотом и фосфором.

Таким образом, почвенно-грунтовые воды и поверхностные паводковые воды с более возвышенных заболоченных территорий, не различаясь классификационной принадлежностью, достаточно своеобразны по своему химизму.



Содержание биогенных элементов и цветность поверхностных вод мезотрофного болота в период весенне-летнего половодья

Место отбора проб вод	Цвет <sup>1)</sup>	С, мг/л		N, мг/л	C/N	P, мг/л	C/P
		Общий	ФК				
Контактная зона							
Суходол-болото	3320	311	301	5,1	61	0,34	914
Березняки вдоль береговой линии внутриболотной р. Еловка. Расстояние от русла:							
70–100 <sup>1)</sup>	2500	237	223	9,6	25	0,86	275
100–140 м	3320	283	274	5,5	51	0,63	449
140–190	2740	225	211	5,5	41	0,63	356
190–230	2000	223	194	3,9	57	0,58	384
230–270	1770	201	171	2,8	72	0,53	380
Открытая, не затопленная центральная часть болота							
Мочажина, верховодка	1050	168	134	1,4	120	0,11	1523

<sup>1)</sup> Цветность по хромато-кобальтовой шкале.

Распределение осаждаемого материала в пределах торфяного массива не является вполне равномерным, что связано с их размерами, локальной скоростью движения воды, наличием разнообразных микровысотных перепадов, гасящих или, напротив, ускоряющих седиментацию взвесей. Немаловажную роль играют, так называемые, шлюзующие микрозаломы из отмерших растительных остатков в виде подстилки, ветоши, валежин, а также элементы мерзлотного пучения, сохранившиеся ко времени половодья.

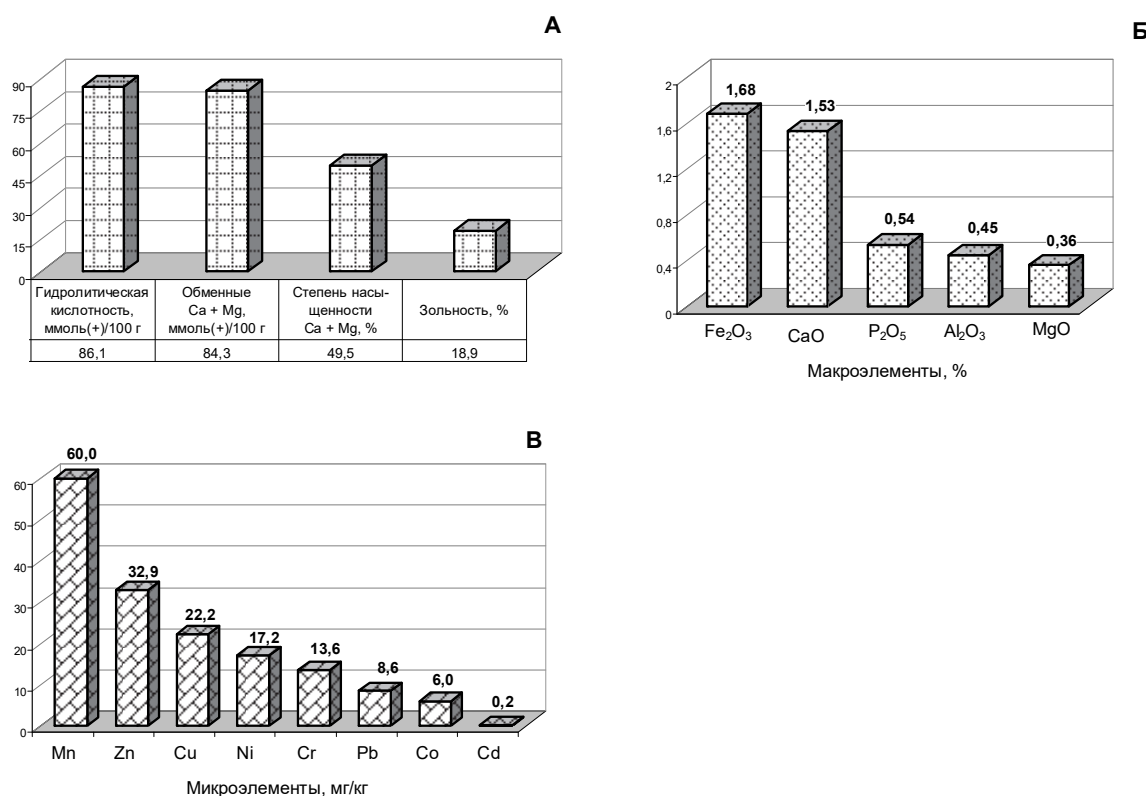


Рис. 1. Химический состав взвесей болотных паводковых вод. Кислотно-основные свойства (А), содержание: макроэлементов (Б) и микроэлементов (В)

Взвеси – твердые дисперсные частицы в составе болотных вод представляют собой мажущуюся гетерогенную органо-минеральную субстанцию бурого цвета. Она характеризуется повышенной гидролитической кислотностью, слабой насыщенностью основаниями и повышенной зольностью (рис. 1, А). В составе минеральной компоненты оксиды макроэлементов образуют следующий нисходящий ряд: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > CaO > P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> > Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > MgO (рис. 1, Б). Среди

микроэлементов больше других содержится марганца, относительно много цинка и меди, далее следуют никель и хром, затем свинец и кобальт и практически в виде следов обнаруживается кадмий (рис. 1, В).

Дисперсные частицы паводковых болотных вод имеют преимущественно органогенный характер: содержание углерода 48,7%, отношение C/N 16,9, степень гумификации органического вещества ( $\Sigma\text{ГК}+\Sigma\text{ФК}$ ) – 49,7%. Такие показатели, согласно критериям [5], характерны для торфяных почв низинного типа. Практически в равном количестве содержится нерастворимый и негидролизуемый остаток – гумин (рис. 2, А). Отношение ( $\Sigma\text{ГК}+\Sigma\text{ФК}$ ) / гумин составляет 1,12. Гумусовые компоненты явно доминируют над количеством полисахаридов (гемицеллюлозы и клетчатки): отношение  $\Sigma\text{ГК}+\Sigma\text{ФК}$  / полисахариды – 8,5. Гумус характеризуется фульватно-гуматным составом: отношение  $\text{Сгк}/\text{Сфк}$  – 1,2. Гуминовые кислоты представлены преимущественно первой фракцией, содержание третьей фракции ниже более чем в 3 раза, кислоты, связанные с кальцием, отсутствуют (рис. 2, Б). Приблизительно в таком же соотношении находятся и фульвокислоты 1-й и 3-й фракций, содержание ФК-1а и ФК-2 равное и составляет 1% (рис. 2, В).

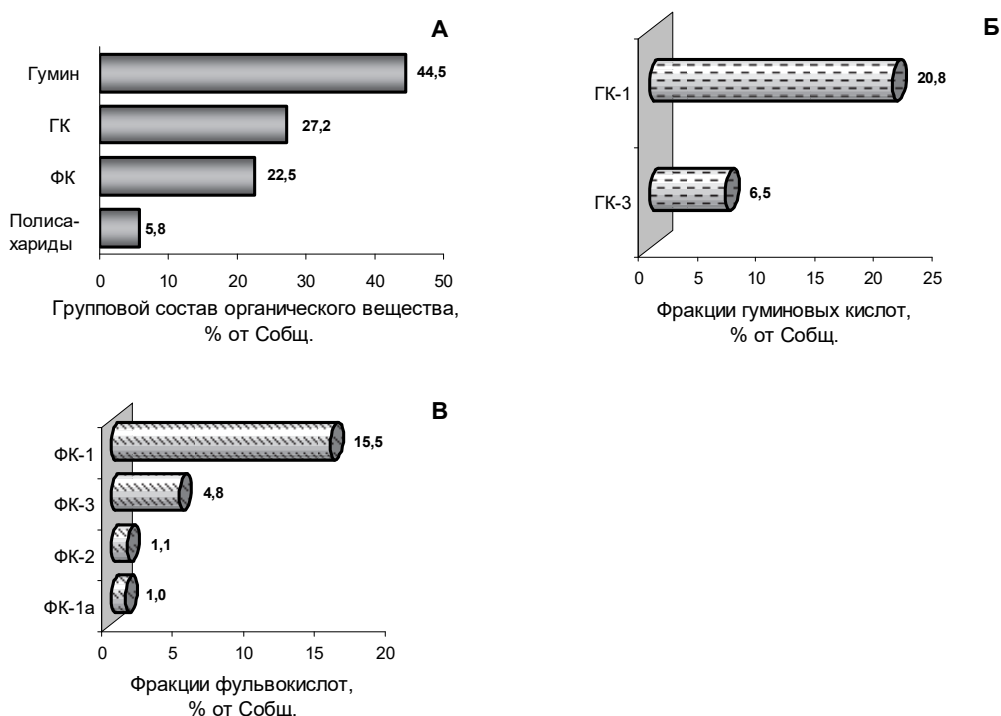


Рис. 2. Состояние органического вещества взвесей болотных паводковых вод. Групповой состав (А), фракции гуминовых кислот (Б), фракции фульвокислот (В)

### Выводы:

1. Еловочное болото, представляя собой древнюю заторфованную ложбину стока, как гипсометрически нижележащее урочище собирает в период весеннего половодья воды крупной плащевой системы олиготрофных и олиго-мезотрофных болот, контактируя с ними в своей верхней (истоковой) части.

2. Паводковые воды по сравнению с почвенно-грунтовыми, питающими мезотрофное болото, более минерализованы, богаты водорастворимым углеродом фульватной природы и биогенными элементами – азотом и фосфором.

3. Взвеси (дисперсная фаза) водного потока по своему составу – преимущественно органо-минеральные коллоиды фульватно-гуматной природы, обогащенные азотом, железом, кальцием, марганцем, цинком, которые образуются в процессе органогенно-аккумулятивного почвообразования.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта № 45 «Взаимосвязь климатических и экосистемных процессов на территории лесоболотных комплексов Западной Сибири» (Комплексная программа фундаментальных исследований СО РАН «Междисциплинарные интеграционные исследования на 2018–2020 гг.»).*

### Литература

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Унифицированные методы анализа вод / под ред. д-ра хим. наук Ю.Ю. Лурье. 2-е изд., испр. М.: Химия, 1973. 376 с.
3. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). Л.: Наука, 1980. 222 с.
4. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель, 1999. 768 с.
5. Ефремова Т.Т. Почвообразование и диагностика торфяных почв болотных экосистем // Почвоведение. 1992. № 12. С. 25–35.

### CHEMICAL COMPOSITION OF BOG WATERS AND SEDIMENTS DURING THE FLOOD

T.T. Efremova, S.P. Efremov, N.V. Melent'eva

Sukachev Institute of Forest SB RAS – Federal Research Center KSC SB RAS, Krasnoyarsk, efr2@ksc.krasn.ru

**Summary.** *Flood waters of overlying mantle system of oligotrophic and oligo-mesotrophic bogs, flowing in spring and summer to ancient drain hollow (Elovochnoe swamp), are more mineralized, enriched with nitrogen, phosphorus and organic matter of fulvic nature in comparison with the soil and groundwater feeding the bog massif. Sediments (dispersed particles) are organomineral colloids of fulvic-humic nature, enriched mainly with nitrogen, iron and calcium, which are in a free state.*

**Keywords:** *flood waters, dispersed colloidal particles, chemical composition, mesotrophic bog.*

## ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ МЕТОДАМИ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

М.В. Журавлева, Ш.К. Карчава, Е.М. Кудеевская, Т.Н. Ажогина,  
А.Ю. Карнаухов, И.С. Сазыкин, М.А. Сазыкина

Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Иванковского Южного федерального университета,  
Ростов-на-Дону, mzhuravleva@sfnu.ru

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования по оценке загрязнения почв полигонов твердых бытовых отходов методами биотестирования с помощью батареи бактериальных lux-биосенсоров.

**Ключевые слова:** полигоны твердых бытовых отходов, загрязнение, биотестирование, lux-биосенсоры.

Наиболее опасным источником загрязнения окружающей среды являются продукты хозяйственной деятельности человека – твердые бытовые отходы (ТБО). Продукты распада ТБО полигонов воздействуют как на саму почву, так и на почвенные биоценозы [1–4]. Токсичные вещества попадают в почву, в открытые водоемы, грунтовые воды с помощью дождевых потоков, фильтратов. Так же возможны случаи возникновения пожаров на полигонах ТБО, которые плохо поддаются тушению. В сухую ветреную погоду с поверхности могут выноситься легкие компоненты: токсичная пыль, продукты анаэробного распада органических фракций отходов [5]. Загрязнение почвы промышленными и бытовыми отходами, содержащими токсические вещества, патогенные микроорганизмы приобретает всё более опасный характер [6].

Материалом проведенных исследований служили образцы почв, отобранные в 2017 г. на следующих ТБО, расположенных в г. Ростове-на-Дону и его окрестностях: Левенцовский полигон ТБО (закрит несколько десятилетий назад); Самарский полигон ТБО, проба из периферийного отвала грунта; южная окраина п. Воронцовка, поле рядом с автомобильной дорогой; полигон ТБО на Военведе в районе пер. Оранжевый и 1-й Залповой улицы, отвал мусора (закрит); полигон ТБО между районами «Северный» и «Военвед» (закрит недавно); полигон ТБО п. Воронцовка – центр полигона и склон мусорного отвала.

Для оценки токсичности почв полигонов ТБО г. Ростова-на-Дону был использован метод биотестирования на основе батареи бактериальных lux-биосенсоров (*E. coli* MG1655 (pXen7-lux), *E. coli* MG1655 (pRecA-lux), *E. coli* MG1655 (pColD-lux), *E. coli* MG1655 (pSoxS-lux), *E. coli* MG1655 (pKatG-lux), *Vibrio aquamarinus* ВКПМ В-11245) [7-9].

Мерой токсичности служил фактор индукции (I), рассчитываемый как отношение биолюминесценции опытной пробы к биолюминесценции контрольной пробы. При достоверном отличии опыта от контроля  $I < 2$ , обнаруженный токсический эффект оценивали как «слабый». При  $2 \leq I \leq 10$  – как «средний». При  $I > 10$  – как «сильный» эффект.

Исследование почв полигонов ТБО с помощью биосенсора *E. coli* MG1655 (pRecA-lux) показало, что генотоксический эффект был зарегистрирован без использования и с использованием метаболической активации, это свидетельствует о наличии как промутагенных веществ, так и мутагенов прямого действия в исследованных пробах. Был зафиксирован генотоксический эффект слабой и средней силы в 5 из 7 образцов.

Тестирование со штаммом *E. coli* MG1655 (pColD-lux) не выявило присутствие мутагенов прямого действия, но в 4 из 7 образцов слабые генотоксические эффекты наблюдались в случае использования метаболической активации, что говорит о преобладании в изучаемых пробах веществ промутагенной природы. Максимальный фактор индукции составил  $1,95 \pm 0,17$  в пробе, отобранной на полигоне ТБО на Военведе.

Исследование присутствия веществ, вызывающих окислительный стресс, при помощи биосенсора *E. coli* MG1655 (pKatG-lux), позволило обнаружить в почвах полигонов ТБО

большое количество пероксидов. Их присутствие было обнаружено в 6 из 7 образцов, максимальные значения фактора индукции колебались от  $2,46 \pm 0,09$  до  $2,97 \pm 0,16$ , что говорит о среднем токсическом эффекте, вызванном присутствием пероксидов.

Максимальный ответ биосенсора *E. coli* MG 1655 (pSoxS-lux), реагирующего на содержание веществ, вызывающих образование супероксид-аниона, был зарегистрирован в трех образцах грунтов, отобранных на ТБО, расположенных между районами «Северный» и «Военвед», Левенцовском полигоне и полигоне ТБО п. Воронцовка (склон мусорного отвала). Факторы индукции составили  $1,60 \pm 0,01$ ;  $1,66 \pm 0,02$  и  $1,68 \pm 0,04$ , соответственно.

Полученные результаты свидетельствуют о присутствии в большинстве образцов почв полигонов ТБО ДНК-тропных веществ. Выявлена промутагенная природа генотоксических веществ, присутствующих в исследованных пробах. Также в большинстве образцов обнаружены вещества вызывающие окислительный стресс. Учитывая актуальность проблемы загрязнения окружающей среды токсичными соединениями, необходим более длительный контроль за их содержанием.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках научного проекта № 6.2379.2017/ПЧ; при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-04-00787 А.*

### Литература

1. Stein R. From Landfill to Parkland // Recycling Today Global Edition. 2012. Vol. 5, № 6. P. 36–40.
2. Евдокимова Г.А., Корнейкова М.В., Лебедева Е.В., Калмыкова В.В. Микробиоты в песках и песчаных почвах природного и техногенного генезиса // Микология и фитопатология. 2009. Т. 43, вып. 2. С. 84–92.
3. Richtel J. Waste Management Practices: Municipal, Hazardous, and Industrial // Boca Raton: CRC Press. 2014. 680 p.
4. Смирнова О.Н., Смирнов В.Ф., Кряжев Д.В., Аникина Н.А. Исследование ряда химических показателей почвы полигона твердых бытовых отходов «игумново» и влияние их на микробиоту // Экологические проблемы промышленных городов сборник научных трудов по материалам 7-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2015. С. 194–195.
5. Белякин С.К. // Зыряновские чтения материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2015. С. 228.
6. Хотько Н.И., Медведева Н.В. Санитарно-экологическая ситуация на полигонах захоронения твердых бытовых отходов // Экология. Риск. Безопасность: материалы IV Общероссийской научно-практической очно-заочной конференции с международным участием. 2016. С. 65–66.
7. Сазыкина И.С. Сазыкин И.С., Хмелевцова Л.Е., Селиверстова Е.Ю., Карчава Ш.К. Журавлева М.В., Кудеевская Е.М. Оценка загрязнения донных отложений Нижнего Дона методами биотестирования и химического анализа // Валеология. 2016. № 4. С. 5–12.
8. Сазыкина М.А., Сазыкин И.С., Хаммами М.И., Журавлева М.В., Карчава Ш.К. Исследование динамики генотоксичности донных отложений Нижнего Дона с использованием биолюминесцентных сенсоров // Валеология. 2015. № 3. С. 47–51.
9. Sazykin I.S., Sazykina M.A., Khmelevtsova L.E., Mirina E.A., Kudeevskaya E.M., Rogulin E.A., Rakin A.V. Biosensor-based comparison of the ecotoxicological contamination of the wastewaters of Southern Russia and Southern Germany // Int. J. Environ. Sci. Technol. 2016. 13 (3): 945–954. DOI 10.1007/s13762-016-0936-0

### ASSESSMENT OF SOLID WASTE LANDFILLS SOILS POLLUTION BY BIOTESTING

M.V. Zhuravleva, S.K. Karchava, E.M. Kudeevskaya, T.N. Azhogina, A.Y. Karnauchoy, I.S. Sazykin, M.A. Sazykina

Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, mzhuravleva@sfedu.ru

**Summary.** *The work presents the research results of assessment of solid waste landfills soils pollution by biotesting with a bacterial lux-biosensors battery.*

**Keywords:** *solid waste landfills soils, pollution, biotesting, lux-biosensor.*

## ПОКАЗАТЕЛИ БИОИНДИКАЦИИ СВЕТЛО-КАШТАНОВЫХ И АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ

В.Н. Заикина, А.А. Околелова, А.Г. Лапченков

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, veronikazaikina@mail.ru

**Аннотация.** В работе описано определение показателей биоиндикации светло-каштановых и аллювиальных почв с помощью культивирования на водных вытяжках из почв мицелия гриба *Botrytis cinerea* и анализа общего микробного числа почвы и массы мицелия гриба *Botrytis cinerea*.

**Ключевые слова:** биоиндикация, почвенный мониторинг, общее микробное число почвы, масса, гриб *Botrytis cinerea*, светло-каштановая почва, аллювиальная почва, тяжелые металлы, нефтепродукты.

Биоиндикация почв, применяемая для оценки ее загрязнения тяжелыми металлами и нефтепродуктами, необходима для проведения почвенного мониторинга и обоснования мероприятий эффективной рекультивации почв.

Ранее нами исследовалась биоиндикация нефтезагрязненных светло-каштановых почв с использованием редиса красного и дождевых червей *Lumbricus rubellus*. При этом определялись следующие показатели биоиндикации: энергия (скорость) прорастания, всхожесть, высота проростков редиса красного, выживаемость дождевых червей *Lumbricus rubellus* в зависимости от степени загрязнения почв. При биоиндикации с применением редиса была выявлена прямая зависимость для всхожести семян (с увеличением содержания нефтепродуктов (НП) всхожесть уменьшается) и обратная зависимость для высоты ростков (с увеличением концентрации НП высота ростков увеличивается в связи с большим содержанием органического углерода Сорг), а скорость прорастания не зависит от концентрации НП [3, 5]. Для дождевых червей была выявлена их выживаемость в зависимости от степени загрязнения почв, установлена обратная зависимость между качеством горюче-смазочных материалов, их октановым числом. Содержание в почве нефтепродуктов негативно влияет на тест-организм (*Lumbricus rubellus*) В глинистой и песчаной светло-каштановых нефтезагрязненных почвах без добавления хитозана 100% смертность отмечена на 7 день, а с добавлением хитозана выживаемость червей увеличилась до 31 дня и погибло только 3-4 червя из 10. Выживаемость дождевых червей не зависит от содержания нефтепродуктов (НП) в почвах и ее гранулометрического состава [1, 2].

*Botrytis cinerea* – фитопатогенный гриб, заражающий ряд сельскохозяйственных культур (томаты, виноград, землянику), который был принят в качестве модельной системы в молекулярной фитопатологии. *B. cinerea* является образцовым организмом для изучения патогенов растений [3].

Так как этот гриб встречается на различных растениях, он может воздействовать и на почву, на которой могут произрастать разные виды растений, а также у него более лучшая способность к росту в лабораторных условиях, поэтому он выбран в качестве культуры для биоиндикации почв, загрязненных поллютантами органического и неорганического происхождения.

Штамм культуры *Botrytis cinerea* предоставлен лабораторией микологии и фитопатологии Всероссийским научно-исследовательским институтом защиты растений (ФГБНУ ВИЗР).

Данная культура является возбудителем серой гнили. Споры гриба легко распространяются ветром и вызывают массовое развитие болезни. Истощение питательного субстрата, высокие или низкие температуры, засуха стимулируют образование на ягодах, листьях и других органах земляники склероциев. Они неправильной формы, черного цвета, 2–5 мм в диаметре [4, 5].

Целью работы является определение показателей биоиндикации: общего микробного числа почвы и массы мицелия гриба *Botrytis cinerea*, выращенного на почвах, загрязненных тяжелыми металлами и нефтепродуктами.

**Объекты и методы исследования.** Объекты исследования расположены на территории агломерации Волгоград – Волжский. Их можно разделить по типу почв: светло-каштановая песчаная почва: АЗС № 3 г. Волжского, в 300 м от сталеплавильного цеха ОАО «Волжский трубный завод»; светло-каштановая глинистая почва: АЗС № 1, г. Волжского, в 800 м от ОАО «Волжский трубный завод»; аллювиальная дерновая песчаная почва: Речной порт г. Волжского, в 3 км от Волжской ГЭС; АЗС № 2, р. п. Средняя Ахтуба, Среднеахтубинский район, расположена на вершине склона в Волго–Ахтубинской пойме, в надпойменной террасе р. Ахтубы, в радиусе 50 км нет химических предприятий. Отбор проб и подготовку почв к анализу проводили по ГОСТу 17.4.3.01-83 [6].

Предварительно готовили водную вытяжку из 4 почвенных образцов по методу Е.В. Аринушкиной согласно ГОСТ 26423-85 [7]: 50 г воздушно-сухой почвы количественно переносили в колбу, добавляли 250 мл дистиллированной воды, затем емкость энергично встряхивали 3 мин., по окончании взбалтывания всю суспензию почвы фильтровали.

Содержание водорастворимых форм тяжелых металлов определяли: Cu и Ni – на приборе "Спектрофотометр UNICO 2100" фотометрическим методом, Zn – на анализаторе жидкости "Флюорат-02-3М" флуориметрическим методом. Содержание НП в водной вытяжке определяли на приборе "Концентратомер КН-2М".

Для культивирования *B.cinerea* посуду и среды стерилизовали соответственно сухим жаром и текучим паром в автоклаве при давлении 1,0 атм. [8]. Затем в колбы добавляли по 50 мл питательной среды, при этом обжигая края колб над пламенем спиртовки для соблюдения стерильных условий. Потом в колбы с питательной средой добавляли разные разведения из водных вытяжек 4 почвенных образцов (для этого в колбы в 3-х кратной повторности добавляли 30 мл вытяжки и 20 мл питательной среды (разведение  $10^{-2}$ ), 20 мл вытяжки и 30 мл питательной среды (разведение  $10^{-3}$ ), 10 мл вытяжки и 40 мл питательной среды (разведение  $10^{-4}$ ). В контрольные колбы в стерильных условиях вносили по 50 мл питательной среды. После этого готовили суспензию конидий *B.cinerea* в питательной среде, содержащую  $10^3$  КОЕ/мл, и добавляли 250 мкл суспензии в каждую колбу. В качестве жидкой питательной среды использовали среду Чапека. Через 10-14 суток, подсчитывали общее микробное число (ОМЧ) почвы и сравнивали его с контролем [8].

Подсчет общего микробного числа (ОМЧ) почвы можно выразить формулой [8]:

$$ОМЧ = \frac{X \times P}{V},$$

где ОМЧ – общее микробное число почвы, КОЕ в  $1 \text{ см}^3$  водной вытяжки почвы; X – микробное число, КОЕ в  $1 \text{ см}^3$  среды для культивирования гриба *B. cinerea* (смеси питательной среды и водной вытяжки почвы); P – 1/степень разведения; V – объем среды для культивирования гриба *B. cinerea*.

Для расчета массы мицелия гриба отфильтруют выросший мицелий гриба *B. cinerea* на беззольных бумажных фильтрах от питательной среды, затем фильтры сушат в автоклаве при  $55^\circ\text{C}$  в течение часа, пустые фильтры взвешивают до фильтрования, после фильтрования и сушки в автоклаве фильтры еще раз взвешивают и по разнице масс бумажных фильтров вычисляют массу микроскопического гриба [8].

**Результаты и их обсуждение.** Результаты опыта по культивированию гриба *Botritis cinerea* на водных вытяжках из светло-каштановых и аллювиальных почв объектов для их биоиндикации представлены в таблице.

Сроки культивирования. Через 7 дней споры гриба начали расти на контроле и почве АЗС № 3. А через 14 дней выросли на остальных почвах.

Общее микробное число (ОМЧ) почвы. В контроле (без добавления водной вытяжки, только на питательной среде Чапека) ОМЧ составило 245333 КОЕ /  $\text{см}^3$  водной вытяжки почвы.

В светло-каштановых почвах максимальное ОМЧ почвы выявлено при наибольшем разведении  $10^{-4}$  в песчаной почве АЗС № 3 (133333 КОЕ /  $\text{см}^3$  водной вытяжки почвы), что в 1,84 раза меньше, чем в контроле и в 5,37 раза выше, чем в глинистой почве АЗС № 1 (24823).

**Результаты опыта по культивированию гриба *Botrytis cinerea* на водных вытяжках из светло-каштановых и аллювиальных почв**

Объект	Концентрация НП в водной вытяжке, мг/кг	Суммарная концентрация ТМ в водной вытяжке (ТМ <sub>Σ</sub> ), мг/кг	Раз-ведение	ОМЧ почвы, КОЕ/ см <sup>3</sup> водной вытяжки почвы	Масса мицелия гриба <i>Botrytis cinerea</i> , г
1	2	3	4	5	6
Контроль	–	–	–	245333±36961	0,0850±0,0220
АЗС № 1	17,00	7,99	10 <sup>-2</sup>	6773±3815	0,0573±0,0010
			10 <sup>-3</sup>	2482±567	0,0466±0,0020
			10 <sup>-4</sup>	24823±5675	0,0683±0,0280
АЗС № 3	52,00	9,52	10 <sup>-2</sup>	14234±11082	0,0572±0,0010
			10 <sup>-3</sup>	3243±882	0,0514±0,0008
			10 <sup>-4</sup>	133333±25137	0,0800±0,0120
АЗС № 2	51,00	–	10 <sup>-2</sup>	281±56	0,0479±0,0010
			10 <sup>-3</sup>	17914±974	0,0506±0,0020
			10 <sup>-4</sup>	38637±5621	0,0526±0,0005
Речной порт	16,20	7,78	10 <sup>-2</sup>	284±56	0,0417±0,0010
			10 <sup>-3</sup>	3901±1135	0,0489±0,0010
			10 <sup>-4</sup>	159574±49145	0,0650±0,0150

Минимальное ОМЧ почвы в светло-каштановых почвах отмечено при среднем разведении 10<sup>-3</sup> в глинистой почве АЗС № 1 (2482 КОЕ / см<sup>3</sup> водной вытяжки почвы), что ниже контроля в 98,84 раза и 1,5 раза ниже, чем в почве АЗС № 3 (3243).

В аллювиальных почвах наибольшее ОМЧ почвы наблюдается в почве Речного порта (159574 КОЕ / см<sup>3</sup> водной вытяжки почвы) при максимальном разведении 10<sup>-4</sup>, что ниже контроля в 1,54 раза и 4,13 раз больше, чем в почве АЗС № 2 (38637).

Наименьшее ОМЧ почвы в аллювиальных почвах выявлено при минимальном разведении 10<sup>-2</sup> в почве АЗС № 2 (281 КОЕ / см<sup>3</sup> водной вытяжки почвы), что меньше контроля в 873 раза и 1,01 раза меньше чем, в почве АЗС № 3 (3243).

При этом в светло-каштановых почвах установлена следующая зависимость: общее микробное число (ОМЧ) почвы выше в песчаной почве АЗС № 3 (133333 КОЕ / см<sup>3</sup> водной вытяжки почвы) с большим содержанием НП = 52,00 мг/кг и ТМ<sub>Σ</sub> = 9,52 мг/кг и при наибольшем разведении 10<sup>-4</sup> и ниже в глинистой почве АЗС №1 (24823) при наименьшем разведении 10<sup>-2</sup> и при меньшем содержании НП = 17,00 мг/кг и ТМ<sub>Σ</sub> = 7,99 мг/кг, что возможно обусловлено гранулометрическим составом почвы и большим содержанием Сорг (2,70%) и ТМ<sub>Σ</sub> = 9,52 мг/кг в почве АЗС № 3 по сравнению с АЗС № 1 – Сорг (0,82%) и ТМ<sub>Σ</sub> = 7,99 мг/кг.

В аллювиальных почвах выявлена обратная зависимость: большее ОМЧ почвы в почве Речного порта (159574 клеток/г почвы) при максимальном разведении 10<sup>-4</sup> и с меньшим содержанием НП = 16,20 мг/кг и ТМ<sub>Σ</sub> = 7,78 мг/кг, а наименьшее – в почве АЗС № 2 (281) при минимальном разведении 10<sup>-2</sup> и с большим содержанием НП = 51,00 мг/кг. Возможно это вызвано большим содержанием ТМ<sub>Σ</sub> в почве Речного порта, что увеличивает ОМЧ почвы.

Масса мицелия гриба *Botrytis cinerea*. В контроле масса мицелия гриба *Botrytis cinerea* составила 0,0850 г.

В светло-каштановых почвах наибольшая масса мицелия гриба *B. cinerea* отмечена при наибольшем разведении 10<sup>-4</sup> в песчаной почве АЗС № 3 (0,0800 г), что ниже в 0,94 раза по сравнению с контролем и выше в 1,17 раза, чем в глинистой почве АЗС № 1 (0,0673).

Наименьшая масса мицелия гриба *B. cinerea* в светло-каштановых почвах наблюдается при среднем разведении 10<sup>-3</sup> в глинистой почве АЗС № 1 (0,0466 г), что ниже в 1,82 раза по сравнению с контролем и ниже в 1,10 раза, чем в почве АЗС № 3 (0,0514).

В аллювиальных почвах максимальная масса мицелия гриба *B. cinerea* выявлена в почве Речного порта (0,0650 г) при максимальном разведении 10<sup>-4</sup> и это ниже в 1,31 раза по сравнению с контролем и выше в 1,24 раза, чем в почве АЗС № 2 (0,0526).



Минимальная масса мицелия гриба *B. cinerea* отмечена при минимальном разведении  $10^{-2}$  в почве Речного порта (0,0417 г), что ниже в 2,04 раза по сравнению с контролем и в 1,15 раза ниже, чем в почве АЗС № 2 (0,0479).

При этом в светло-каштановых почвах также наблюдается зависимость: большая масса мицелия гриба *B. cinerea* выявлена в песчаной почве АЗС № 3 (0,0800 г) при большем содержании НП = 52,00 мг/кг и  $TM_{\Sigma}$  = 9,52 мг/кг, а его меньшая масса – в глинистой почве АЗС №1 (0,0466 г) при наименьшем разведении  $10^{-2}$  и при меньшем содержании НП = 17,00 мг/кг и  $TM_{\Sigma}$  = 7,99 мг/кг. Это также возможно обусловлено гранулометрическим составом почвы и большим содержанием Сорг (2,70%) и  $TM_{\Sigma}$  = 9,52 мг/кг в почве АЗС № 3 по сравнению с АЗС № 1 – Сорг (0,82%) и  $TM_{\Sigma}$  = 7,99 мг/кг.

В аллювиальных почвах не выявлена четкая обратная зависимость: большая масса мицелия гриба *B. cinerea* отмечена в почве Речного порта (0,0650 г) при максимальном разведении  $10^{-4}$  и с меньшим содержанием НП = 16,20 мг/кг и  $TM_{\Sigma}$  = 7,78 мг/кг, меньшие массы мицелия гриба *B. cinerea* – в почве АЗС № 2 (0,0479-0,0526 г) при большем содержании НП = 51,00 мг/кг, а минимальная масса мицелия гриба *B. cinerea* выявлена в почве Речного порта (0,0417 г) при минимальном разведении  $10^{-2}$ .

#### **Выводы:**

1. Через 7 дней споры гриба *B. cinerea* начали расти на контроле и почве АЗС № 3. А через 14 дней выросли на остальных почвах.

2. Максимальное ОМЧ почвы в светло-каштановых почвах выявлено в песчаной почве АЗС № 3 (133333 КОЕ / см<sup>3</sup> водной вытяжки почвы) при наибольшем разведении  $10^{-4}$ , что в 1,84 раза меньше, чем в контроле и в 5,37 раза выше, чем в глинистой почве АЗС № 1 (24823)

3. Минимальное ОМЧ почвы в светло-каштановых почвах отмечено при среднем разведении  $10^{-3}$  в глинистой почве АЗС № 1 (2482 КОЕ / см<sup>3</sup> водной вытяжки почвы), что ниже контроля в 98,84 раза и 1,5 раза ниже, чем в почве АЗС № 3 (3243).

4. В аллювиальных почвах наибольшее ОМЧ почвы наблюдается в почве Речного порта (159574 КОЕ / см<sup>3</sup> водной вытяжки почвы) при максимальном разведении  $10^{-4}$ , что ниже контроля в 1,54 раза и 4,13 раз больше, чем в почве АЗС № 2 (38637).

5. Наименьшее ОМЧ почвы в аллювиальных почвах выявлено при минимальном разведении  $10^{-2}$  в почве АЗС № 2 (281 КОЕ / см<sup>3</sup> водной вытяжки почвы), что меньше контроля в 873 раза и 1,01 раза меньше чем, в почве АЗС № 3 (3243).

6. В светло-каштановых почвах наибольшая масса мицелия гриба *B. cinerea* отмечена при наибольшем разведении  $10^{-4}$  в песчаной почве АЗС № 3 (0,0800 г), что ниже в 0,94 раза по сравнению с контролем и выше в 1,17 раза, чем в глинистой почве АЗС № 1 (0,0673).

7. Наименьшая масса мицелия гриба *B. cinerea* в светло-каштановых почвах наблюдается при среднем разведении  $10^{-3}$  в глинистой почве АЗС № 1 (0,0466 г), что ниже в 1,82 раза по сравнению с контролем и ниже в 1,10 раза, чем в почве АЗС № 3 (0,0514).

8. В аллювиальных почвах максимальная масса мицелия гриба *B. cinerea* выявлена в почве Речного порта (0,0650 г) при максимальном разведении  $10^{-4}$  и это ниже в 1,31 раза по сравнению с контролем и выше в 1,24 раза, чем в почве АЗС № 2 (0,0526).

9. Минимальная масса мицелия гриба *B. cinerea* отмечена при минимальном разведении  $10^{-2}$  в почве Речного порта (0,0417 г), что ниже в 2,04 раза по сравнению с контролем и в 1,15 раза ниже, чем в почве АЗС № 2 (0,0479).

10. В светло-каштановых почвах наблюдается одинаковая прямая зависимость от содержания НП и ТМ: большие общее микробное число почвы и масса мицелия гриба *B. cinerea* выявлены в песчаной почве АЗС № 3 при большем содержании НП и ТМ, а меньшие общее микробное число почвы и масса мицелия гриба *B. cinerea* – в глинистой почве АЗС №1 при их меньшем содержании.

11. А аллювиальных почвах выявлена одинаковая обратная зависимость от содержания НП и ТМ: максимальные общее микробное число почвы и масса мицелия гриба *B. cinerea* отмечены в почве Речного порта при большем содержании НП и ТМ, наименьшее микробное число почвы – в почве АЗС № 2 при их меньшем содержании, а наименьшая масса мицелия

гриба *B. cinerea* выявлена в почве Речного порта, хотя в среднем меньшие массы *B. cinerea* наблюдаются в почве АЗС № 2 при большем содержании НП.

### Литература

1. Заикина В.Н., Околелова А.А. Биоиндикаторы оценки токсичности нефтезагрязненных почв // Сборник докладов VII Международного заочного конкурса научно-исследовательских работ «Перспективы науки – 2017» (24.11.2017). Том 2 (Естественные и технические науки). Казань: Рокета Союз, 2017. С. 30–37.
2. Околелова А.А., Заикина В.Н. Биоиндикация загрязненных нефтью светло-каштановых почв // Естественно-гуманитарные исследования. 2017. № 17. С. 16–23.
3. Francisco Javier Ferná'ndez-Acero, Thomas Colby, Anne Harzen, Maria Carbu, Ursula Wieneke, Jesu's Manuel Cantoral1 and Ju.rgen Schmidt. 22-DE proteomic approach to the *Botrytis cinerea* secretome induced with different carbon sources and plant-based elicitors // *Proteomics*. 2010. № 10. P. 2270–2280.
4. Мир растений. Т. 2 / под ред. М.В. Горленко. М.: Просвещение, 1991. 475 с.
5. Martijn Staats, Peter van Baarlen, Jan A. L. van Kan: Molecular Phylogeny of the Plant Pathogenic Genus *Botrytis* and the Evolution of Host Specificity // *Molecular Biology and Evolution*. 2005. 22. Issue 2. P. 333–346.
6. ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб М.: Стандартиформ, 2008. 9 с.
7. ГОСТ 26423-85 «Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки». М.: Стандартиформ, 2011. 7 с.
8. Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии, М.: Дрофа, 2004. 120 с.

### THE FACTORS OF BIOINDICATION LIGHT BROWN AND ALLUVIAL SOILS

V.N. Zaikina, A.A. Okolelova, A.G. Lapchenkov

Volgograd state technical University, Volgograd, veronikazaikina@mail.ru

**Summary.** *This paper describes the determination of factors of biological indication light chestnut and alluvial soils with cultivation on water extracts from soil mycelium of the fungus *Botrytis cinerea* and analysis of the total microbial number of the soil and the mass of the mycelium of the fungus *Botrytis cinerea*.*

**Keywords:** *bioindication, soil monitoring, total microbial number of the soil, mass, the fungus *Botrytis cinerea*, light brown soil, alluvial soil, heavy metals, petroleum products.*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ МИКОРИЗНЫХ ГРИБОВ В ЭКОСИСТЕМАХ ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТ

А.Г. Зуев

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, agz56@list.ru

**Аннотация.** *Микоризные грибы играют огромную роль в транспорте и формировании пулов углерода не только собственно наземных, но и сезонно затопляемых экосистем, таких как верховые олиготрофные болота. Оценка биомассы мицелия микоризных грибов на олиготрофном болоте, проводимая в серии манипуляционных экспериментов, важна как для определения пула органического углерода, являющегося перспективной пищевой базой для беспозвоночных животных, так и для понимания функционирования всей экосистемы в целом.*

**Ключевые слова:** *верховое олиготрофное болото, сфагнум, сосновые микроландшафты, микоризный мицелий, вегетационные мешочки.*

Олиготрофные болота часто характеризуются сложной физической и пространственной структурой. Эти экосистемы широко признаны в качестве важнейших медиаторов углерода, питательных веществ и энергии. Олиготрофные болота обладают высокой продуктивностью по биомассе растений – до 10 кг сухой массы, производимой на квадратный метр в год [2]. Так как только небольшая часть растительной ткани потребляется травоядными животными в течение вегетационного периода, большая её часть попадает в детритный пул после гибели растений, что приводит к накоплению органического вещества, обеспечивающего широкие возможности для развития гетеротрофного пула микроорганизмов и грибов [1]. До последнего времени найдено сравнительно немного видов микоризных грибов, обитающих в симбиозе водными или болотными растениями. Это связывали с тем, что споры и микоризные окончания обычно не выживают при длительном затоплении, однако показано, что растения, переносимые с болот в более сухие местообитания, могут образовывать микоризу. С развитием молекулярных методов исследования на болотах были обнаружены многие грибы, в частности, образующие арбускулярную микоризу или микоризу эрикоидного типа. Показано, что развитие микоризного мицелия на болотах имеет сезонный характер и признаки эксплентности [3].

Существует достаточно данных, описывающих развитие мицелия микоризообразующих макромицетов в наземных экосистемах на настоящих почвах [4], однако информация о её общем годовом приросте в болотных местообитаниях отсутствует. Показано, что продукция грибного мицелия в болотных экосистемах может быть значительной [2], однако данные работы проведены без разделения мицелия отдельных функциональных групп грибов – сапротрофных и микоризных; макро- и микромицеты также не разделены, что не позволяет сформировать полное понимание потока углерода в непелагических экосистемах.

Работа проводится на территории верхового болотного массива Старосельский Мох. Массив расположен в юго-восточной части Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника (ЦЛГБЗ) и весьма подробно исследован. Старосельский Мох приурочен к котловине, окружающий болото. Рельеф представляет собой чередование моренных гряд и межгрядовых понижений. Площадь болотного массива – 4,2 км<sup>2</sup>. Абсолютная высота его восточной границы – 250 м, у западной границы 255-257,5 м. Таким образом, поверхность болота слабо наклонена на восток (угол наклона менее 1°) и имеет сток через несколько небольших ручьев.

В пределах болота могут быть выделены следующие типы болотных микроландшафтов: сосново-кустарничковый, сосново-пушицевый, сосново-сфагновый, пушицевый, сфагново-пушицевый, сфагново-кустарничковый облесенный сосной, грядово-мочажинные с олиготрофным типом растительности на грядах и в мочажинах. Мозаика микроландшафтов отли-

чается пестротой. Наибольшее распространение имеет сфагново-пушицевый тип микроландшафта. Средняя мощность торфа в пределах болота составляет 4–5 м.

Чтобы оценить прирост биомассы мицелия микоризных грибов в такой структурно сложной системе как олиготрофное болото, мы предполагаем провести измерения в течение годового цикла в пяти вариантах манипуляционного эксперимента сезонно затопляемой территории пресноводного верхового болота.

Экспериментальное повышение температуры. Этот вариант эксперимента предусматривает возведение так называемых открытых камер (ОТС, open-top chambers), которые широко используются для локального повышения среднегодовой температуры, обычно в целях имитации потепления климата. Камеры работают по принципу теплицы (задерживают часть исходящего длинноволнового излучения). Среднегодовая температура внутри камер обычно повышается на 0,5–2°C по сравнению с окружающей атмосферой, но их эффективность сильно зависит от типа экосистемы и климатической зоны. Открытые камеры состоят из прозрачных стен, установленных с небольшим наклоном внутрь; сверху конструкция остается открытой.

Экспериментальное снижение количества осадков. Этот вариант эксперимента предусматривает возведение перехватывающего влагу навеса, сделанного из полукруглых желобов, закрывающих 1/2 площади. Манипуляция производится главным образом с целью изменения поступления «реактивного» атмосферного азота (биологически доступные окислы азота и аммоний, растворенные в атмосферных осадках). Реактивный атмосферный азот (наряду с биотической азотфиксацией) играет ключевую роль в азотном питании верховых болот; увеличение поступления азота может приводить к существенным изменениям структуры растительности. Изменение количества поступающей влаги само по себе не должно оказывать существенного влияния на влажность почвы в нормально переувлажненной системе мочажин.

Экспериментальное затенение. Основная цель данной манипуляции – снижение инсоляции, которое приведет к понижению температуры поверхности почвы в летние месяцы и снижению суточных колебаний температуры. Этот вариант эксперимента предусматривает возведение перехватывающего свет навеса. Сооружение задерживает осадки и не мешает обмену воздуха, но обеспечивает отсутствие прямого солнечного света на затененной площадке. Приспособление к высокой интенсивности солнечной радиации определяет целый ряд адаптаций болотных растений, которые часто имеют ксероморфный облик. Известны многочисленные адаптации почвенных животных к обитанию в «перегретых» местообитаниях, однако в приложении к болотным системам этот вопрос рассматривался.

Для оценки обилия микоризного мицелия будет использован недавно разработанный метод сетчатых мешков с песком [4]. Мешочки из сетки с размером ячеек 46 мкм, наполненные чистым песком, будут помещены в верхний слой сфагнового мата. Ячейка такого размера не допускает проникновения корней, но дает свободный доступ грибному мицелию. В песок прорастает почти исключительно мицелий микоризных грибов, которые получают необходимую для роста энергию «со стороны», от корней растений. Наши предварительные опыты дали весьма оптимистичные результаты. Запланирована 4-кратная закладка в почву мешочков с песком со сроком экспозиции около 6 месяцев. Полученный мицелий будет взвешен на микровесах Mettler Toledo с точностью до 1 мкг и затем подвергнут изотопному анализу.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-04-01856).*

### Литература

1. Buesing N., Gessner M.O., 2006. Benthic bacterial and fungal productivity and carbon turnover in a freshwater marsh // *Appl. Environ. Microbiol.* T. 72, № 1. С. 596–605.
2. Kvet, J., Westlake, D.F., Dykjoва, D., Marshall, E.J.P. and Ondok, J.P., Primary production in wetlands // *The production ecology of wetlands.* Cambridge, 1998. P. 78–168.
3. Turner S.D., Stephen D., Amon J.P., Schneble, R.M., Friese, C.F., 2000. Mycorrhizal fungi associated with plants in ground-water fed wetlands // *Wetlands.* T. 20, № 1. С. 200–204.

4. Wallander H., Ekblad A., Godbold D.L., Johnson D., Bahr A., Baldrian P., Björk R.G., Kieliszewska-Rokicka B., Kjoller R., Kraigher H., Plassard C., Rudawska M., 2013. Evaluation of methods to estimate production, biomass and turnover of ectomycorrhizal mycelium in forests soils – A review // *Soil Biol. Biochem.* T. 57. C. 1034–1047.

## **PROSPECTS OF MYCORRHIZAL FUNGI RESEARCH IN THE ECOSYSTEMS OF OLIGOTROPHIC PEAT BOGS**

A.G. Zuev

A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, agz56@list.ru

**Summary.** *Mycorrhizal fungi play a vital role in the transport of nutrients and carbon pools formation not only in terrestrial, but also in seasonally flooded ecosystems, such as oligotrophic peat bogs are. Evaluation of the biomass of mycorrhizal fungi mycelium on an oligotrophic bog conducted in a series of manipulative experiments. It is important both for the feature determination of organic carbon pool, which is a promising food base for invertebrate animals, and for understanding of the entire ecosystem functioning as a whole.*

**Keywords:** *oligotrophic peat bog, sphagnum, pine microlandscapes, mycorrhizal mycelium, in-growth mesh bags.*

## ПОЧВЕННОЕ ДЫХАНИЕ В ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Д.Г. Иванов<sup>1</sup>, Ф.А. Татаринов<sup>1,2</sup>, Ю.А Курбатова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, ivanovdg19@gmail.com

<sup>2</sup>Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel, f.tatarinov@gmail.com

**Аннотация.** Проведены исследования почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> камерным методом в различных микроландшафтах двух типов заболоченных лесов южной зоны. В течение 4 летних периодов в различных условиях дыхание почвы варьировалось от 659 до 2248 мг CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup>. Суммарная эмиссия CO<sub>2</sub> за год составила 2000–3000 г CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup>, а вклад холодного периода – 6–8,5%. Влияние температуры на почвенное дыхание было выше, чем уровня грунтовых вод.

**Ключевые слова:** камерный метод, потоки углерода, торфяники, эмиссия CO<sub>2</sub>, южная тайга.

**Актуальность.** Заболоченные леса образуются в полугидроморфных биотопах с одновременным проявлением процессов лесообразования и заболачивания, и тем самым являются переходными экосистемами между лесом и болотом, имея признаки обоих типов экосистем. Болотообразование сопровождается накоплением торфа, замедлением разложения древесной растительности и образованием растительного покрова, где преобладают мезогигрофильные виды, в частности сфагнум [1]. В тоже время, приток менее кислых минерализованных латеральных вод из более сухих участков лесного массива приводит к более высоким значениям pH, улучшению режима питания и более высокой биологической продуктивности по сравнению с открытыми торфяными болотами [2].

Облесенные болота и заболоченные леса бореальной зоны могут отличаться от открытых верховых болот по балансу и скорости накопления углерода в условиях потепления климата и периодических засух [3], что может привести к ускоренной положительной обратной связи с климатическими изменениями [4, 5].

Изучение углеродного баланса в таких переходных экосистемах важно для оценки воздействия климатических изменений, как на систему лесных болот, так и на интенсивность эмиссии накопления углерода, в этих экосистемах.

Целью настоящего исследования является количественное определение почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> на естественных заболоченных участках елового леса и прилегающего к ним соснового лесного болота, расположенных в южной тайге Европейской России, а также оценка роли гидротермических условий в формировании пространственной и временной изменчивости дыхания почв в разных микроландшафтах заболоченных лесных экосистем.

**Объекты и методы.** Место исследования расположено на западе Европейской части России, в юго-западной части Валдайской возвышенности, на территории Центрально-Лесного заповедника. Измерения CO<sub>2</sub> проводились в двух смежных лесных экосистемах олиготрофного типа заболачивания, находящихся в нижней части моренного холма. Участок ES представлял собой типичный ровный микроландшафт заболоченного ельника, DS – микроландшафт с большим количеством разлагающихся древесных остатков, ES – кочковатый экотон на границе с сосновым болотом. Площадки TS, DS и ES относятся к заболоченному сфагново-черничному ельнику на торфянисто-подзолистых почвах (мощность торфяного горизонта 35–50 см). Участок P расположен на лесном болоте, представляющим собой кочковатый пушицево-сфагновый сосняк на торфяно-подзолистых почвах (мощность торфяного горизонта 75–90 см).

Полевые измерения эмиссии CO<sub>2</sub> проводились в течение 4 летних периодов (июнь-август) 2013–2016 гг. и годового цикла измерений с октября 2015 г. по сентябрь 2016 г. с частотой 4–10 дней (в холодный период с ноября 2015 г. по март 2016 г. с частотой один раз в месяц). В 2013 г. измерения проводились только на площадках вельнике, а в 2014–2016 гг. – на всех 4 площадках.

Почвенное дыхание измерялось модифицированным методом закрытых камер [6]. Подробное описание измерения и расчета эмиссии CO<sub>2</sub> представлены в статье [7]. Каждый участок включал 5 точек-повторностей. Зимой эмиссия CO<sub>2</sub> с поверхности снега измерялась с использованием удлинительных секций, устанавливавшихся между камерой и основаниями, без нарушения снежного покрова.

В качестве дополнительных параметров измерялась температура почвы на глубине 10 см и температура воздуха вблизи камер термодатчиком Checktemp 1 (Hannainst.). Уровень грунтовых вод измерялся на каждом участке в 3 повторностях с помощью перфорированных трубок.

**Результаты и обсуждение.** Летние периоды наблюдений 2013–2016 гг. на территории заповедника значительно отличались по гидротермическим условиям. Летний период 2013 г. можно охарактеризовать как жаркий и засушливый, 2014 г. – жаркий с недостаточным увлажнением, 2015 г. – жаркий и сильно засушливый, а 2016 г. – жаркий с достаточным увлажнением. Во время сезонных измерений с октября 2015 г. по сентябрь 2016 г. температура воздуха в целом была выше среднемноголетнего значения на 1–6°C. Количество осадков до вегетационного периода (октябрь–март) было близким к среднемноголетнему, а в течение вегетационного периода оно было на 10% ниже.

Изучаемые участки различались по почвенным гидротермическим условиям в течение летних периодов 2013–2016 гг. Участки, расположенные в еловом лесу, характеризовались относительно низкой температурой почвы (в среднем 11,1–11,5°C) и низким уровнем грунтовых вод (33,7–34,5 см). На участке в сосновом лесу средняя температура почвы составляла 12,5°C, а уровень грунтовых вод был выше, чем на других участках (23–25,8 см). Во время сезонных измерений 2015–2016 гг. в еловом лесу осенние температуры почвы (сентябрь, октябрь, ноябрь) составили 1,6–10,6°C, зимние (декабрь–март) – примерно 0°C, а весенние температуры (с апреля по май) – в среднем 0,6–8,7°C. Динамика уровня болотных вод и температуры почвы в течение летних периодов четырех лет заметно различалась. Длительное отсутствие осадков приводило к значительному опусканию УБВ до 16–23 см в болотных микроландшафтах и до 80 см – в лесных, а нагрев почвы на глубине 10 см увеличивался до 20–24°C.

Т а б л и ц а 1

Среднемесячные значения эмиссии CO<sub>2</sub> (мг CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup>)

	TS	DS	ES	PB
Июнь 2013	795±327*	1383±438	619±425	–
Июль 2013	876±366	2370±798	779±416	–
Август 2013	1440±405	2949±793	1322±669	–
Ср.	1048±143	2248±296	913±183	–
Июнь 2014	652±266	1121±554	525±201	388±148
Июль 2014	953±539	1405±536	789±310	839±421
Август 2014	1533±723	1853±722	1000±441	997±547
Ср.	1052±120	1540±137	781±85	738±98
Июнь 2015	785±251	1246±494	496±199	624±276
Июль 2015	1054±211	1617±598	672±284	969±359
Август 2015	1233±480	1587±741	865±297	685±243
Ср.	1031±112	1517±198	767±90	820±102
Июнь 2016	749±369	812±429	546±228	597±321
Июль 2016	1205±295	1662±502	560±156	522±300
Август 2016	1134±372	1162±382	793±287	836±422
Ср.	979±113	1078±172	633±179	659±123

\*±SD.

Исследуемые микроландшафты характеризовались высокой пространственной неоднородностью эмиссии CO<sub>2</sub> как внутри участков, так и между ними (Табл. 1). На относительно равном микроландшафте с гомогенным напочвенным растительным покровом на участке TS значения дыхания почвы в отдельных точках иногда различались более чем в 2 раза, а средний коэффициент пространственного варьирования за 4 летних периода составил 24%. Средние коэффициенты вариации на других участках были выше, а именно: 26%, 35% и 34% на участках DS, ES и PB соответственно.

По средним значениям за летние сезоны 2014–2016 гг. не было обнаружено существенных различий между участками ES (633–913 мг CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup>) и PB (659–820 мг CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup>). Почвенное дыхание на участке TS было значительно выше, чем на двух предыдущих участках, и составило 979–1052 мг CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup>. Наиболее интенсивная эмиссия CO<sub>2</sub> была зарегистрирована на участке DS, в то же время количество выделенного диоксида углерода на этом участке значительно уменьшилось в годовом масштабе с 2248 мг CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup> в 2013 г. до 1078 мг CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup> в 2016 г.

Кумулятивные значения эмиссии CO<sub>2</sub> за летние периоды 2013–2016 гг. составили 2212–2259 г CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> на участке TS и 1408–1640 г CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> – на участке PB. Наиболее существенные различия наблюдались на участке DS (2618–4825 г CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup>) и ES (1367–1958 г CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup>).

В течение годового цикла с октября 2015 г. по сентябрь 2016 г. (рис. 1) минимальные значения эмиссии CO<sub>2</sub> были отмечены в холодный период (ноябрь–апрель), а максимальные значения наблюдались в теплый период (май–август).

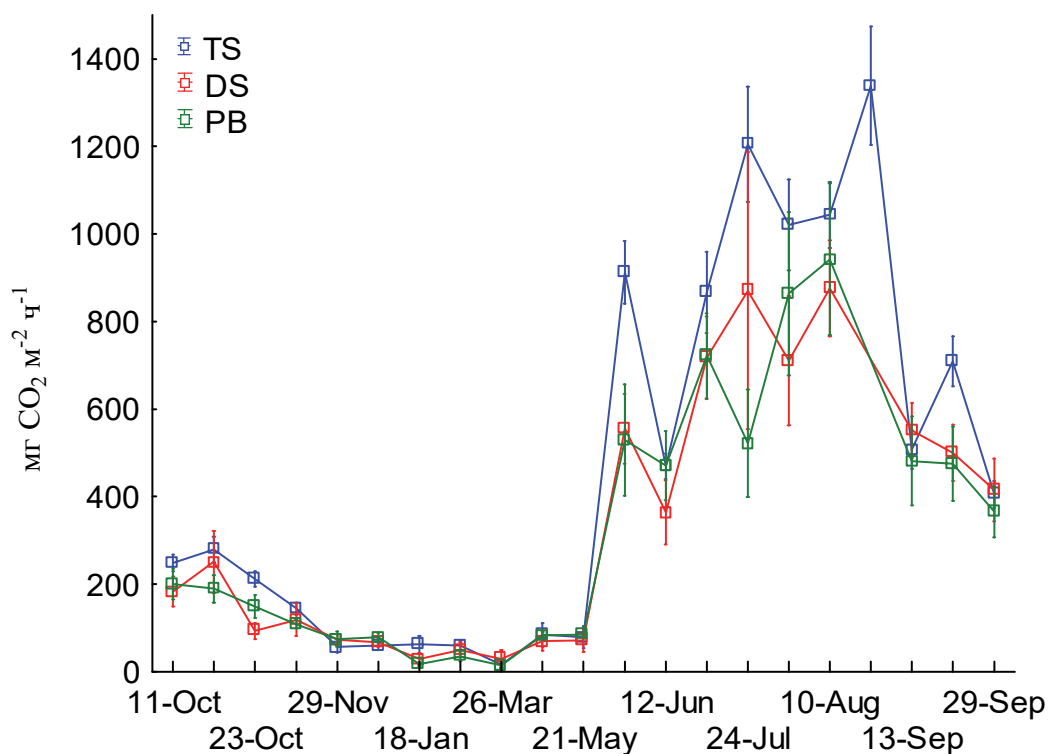


Рис. 1. Динамика эмиссии CO<sub>2</sub> в течение 2015–2016 гг.

Средние коэффициенты вариации дыхания почвы между 5-ю повторностями внутри участка за летний период составили 18% (TS), 31% (ES) и 43% (PB). Средние зимние коэффициенты вариации были выше на участках TS и ES (44 и 50%), а на участке PB значение не изменилось. Динамика дыхания почвы с октября по май была одинаковой на всех участках. В октябре на всех изучаемых микроландшафтах значения эмиссии CO<sub>2</sub> составляли от 161 до 220 мг CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup>, с ноября по май они не превышали 100 мг CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup>, а начиная с июня, они увеличились до 500–1100 мг CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup>. Максимальные значения наблюдались в июле–августе (900–1350 мг CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup>), а в сентябре, дыхание почв снизилось до 440–540 мг CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup>. Минимальные значения для всех участков наблюдались в марте, а максимальные значения – в августе для участков TS и PB, в июле и августе – для участка ES.

Суммарная годовая почвенная эмиссия CO<sub>2</sub> в заболоченных лесах в 2015–2016 гг. составила около 2000–3000 г CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> (что соответствует 20–30 т CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup>). Максимальное количество диоксида углерода было выделено из почвы на участке TS, а минимальное – на участке PB. Разница в годовой эмиссии CO<sub>2</sub> между участками TS и PB составила 34%. Вклад холод-



ного периода в годовую эмиссию CO<sub>2</sub> (ноябрь-апрель) составил 6% для участка TS, 8,5% – для ES и 8% – для PB.

Высокие коэффициенты корреляции ( $r$ ) были получены между эмиссией CO<sub>2</sub> и температурами верхнего торфяного слоя 10 см для всех участков. Самый высокий коэффициент корреляции (0,78) был получен для TS, а самый низкий (0,67) – для DS. На участках ES и PB он составлял 0,74. Экспоненциальная регрессия от температуры почвы была наиболее эффективной для TS ( $r^2 = 0,57$ ) и наименее эффективной для участка DS ( $r^2 = 0,45$ ). Коэффициенты детерминации для участков ES и PB составили 0,5 и 0,49 соответственно. Однако для отдельных точек  $r^2$  составил 0,53-0,71 на участке TS, 0,47-0,61 – на участке DS, 0,5-0,76 – на участке ES и 0,48-0,59 – на участке PB.

Несмотря на сравнительно высокий уровень грунтовых вод на ES и PB, значительное влияние этого параметра на выделение CO<sub>2</sub> наблюдалось только на TS ( $r = 0,49$ ). На участках DS, ES и PB коэффициенты корреляции между уровнем грунтовых вод и эмиссией CO<sub>2</sub> составили 0,17, 0,23 и 0,24 соответственно.

**Заключение.** В целом, по сравнению с результатами других авторов, полученные нами значения эмиссии CO<sub>2</sub> в течение летних периодов и годового цикла измерений были выше в 1.5-3 раза [8-13]. Широкий разброс сезонных и годовых значений почвенного дыхания, а также коэффициентов корреляции и детерминации, представленные разными авторами, могут быть объяснены не только различными условиями окружающей среды, но и методами измерения и расчета значений, что не позволяет считать данные измерений полностью сопоставимыми. Высокие значения эмиссии CO<sub>2</sub> из почвы, полученные нами, можно объяснить более мягкими климатическими условиями европейской южной тайги по сравнению с Западной Сибирью, Финляндией и Канадой и отсутствием промерзания почвы в зимний период. Содержание большого количества мертвой древесины различной стадии разложения в почве (участок DS) определяет не только активное гетеротрофное дыхание, но также обеспечивает наличие участков с контрастными гидротермическими условиями в пределах одного микрорельефа, что приводит к большим различиям в общих оценках годовой эмиссии CO<sub>2</sub>. Уровень грунтовых вод оказывает прямое влияние на глубину слоя аэрируемой почвы, активацию корневого дыхания и аэробное разложение органического вещества. Однако, согласно полученным данным, для интенсивного дыхания почвы высокая температура почвы важнее, чем снижение уровня грунтовых вод.

*Исследования проведены при поддержке РФФИ и Русского географического общества (проект № 17-05-41127), а также частично при поддержке Президиума РАН по программе № 51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования»*

## Литература

1. Joosten H., Clarke D. Wise use of mires and peatlands. International Mire Conservation Group. Finland: International Peat Society, 2002. 303 p.
2. Howie S.A., Meerveld I.T. The essential role of the lag in raised bog function and restoration: a review // *Wetlands*. 2011. № 31. P. 613–622.
3. Kettles I.M., Tarnocai C. Development of a model for estimating the sensitivity of Canadian peatlands to climatic warming // *Geograph. Phys. Quat.* 1999. № 53. P. 323–338.
4. Gruber N., Friedlingstein P., Field C.B., Valentini R., Heimann M., Richey J.E., Lankao P.R., Schulze E.D., Chen C.T.A. The vulnerability of the carbon cycle in the 21st century: an assessment of carbon-climate-human interactions // *Scope-Scientific committee on problems of the environment international council of scientific unions*. 2004. № 62. P. 45–76.
5. Stocker B.D., Roth R., Joos F., Spahni R., Steinacher M., Zaehle S., Bouwman L., Xu-Ri, Prentice I.C. Multiple greenhouse-gas feedbacks from the land biosphere under future climate change scenarios // *Nature Clim. Change*. 2013. № 3. P. 666–672.
6. Глаголев М.В., Филиппов И.В. Измерение потоков парниковых газов в болотных экосистемах. Ханты-Мансийск: Югорск.гос. ун-т, 2011. 220 с.

7. Иванов Д.Г., Авилов В.К., Курбатова Ю.А. Потоки CO<sub>2</sub> на верховом болоте в южнотаежной зоне европейской части России в летний период // Сибирский экологический журнал. 2017. Т. 24, № 2. С. 109–118.

8. Головацкая Е.А., Дюкарев Е.А. Влияние факторов среды на эмиссию CO<sub>2</sub> с поверхности олиготрофных торфяных почв Западной Сибири // Почвоведение. 2012. № 6. С. 658–658.

9. Кузнецов М.А. Запасы и потоки органического углерода в системе почва-фитоценоз ельника чернично-сфагнового средней тайги Республики Коми // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2014. № 5. С. 17–19.

10. Munir T.M., Perkins M., Kaing E., Strack M. Carbon dioxide flux and net primary production of a boreal treed bog: Responses to warming and water-table-lowering simulations of climate change // Biogeosciences. 2015. № 12. P. 1091–1111.

11. O'connell K.E., Gower S.T., Norman J.M. Net ecosystem production of two contrasting boreal black spruce forest communities // Ecosystems. 2003. № 6 (3). P. 248–260.

12. Rayment M.B., Jarvis P.G. Temporal and spatial variation of soil CO<sub>2</sub> efflux in a Canadian boreal forest // Soil Biology and Biochemistry. 2000. № 32 (1). P. 35–45.

13. Tupek B., Minkinen K., Kolari P., Starr M., Chan T., Alm J., Vesala T., Lain Y., Nikinmaa E. Forest floor versus ecosystem CO<sub>2</sub> exchange along boreal ecotone between upland forest and lowland mire // Tellus B. 2008. № 60 (2). P. 153–166.

### SOIL RESPIRATION IN PALUDIFIED FORESTS OF EUROPEAN RUSSIA

D.G. Ivanov<sup>1</sup>, F.A. Tatarinov<sup>1,2</sup>, J.A. Kurbatova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow

<sup>2</sup>Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel

**Summary.** Soil CO<sub>2</sub> emissions were measured with the close chamber method in different microlandscapes of twopaludified foreststypes in European southern taiga. For 4 summer periods with different environments, the soil respiration ranged from 659 to 2248 mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. The annual total soil CO<sub>2</sub> emissions were approximately 2000–3000 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>, and the contributions of cold period were 6–8.5%. The impacts of temperature on soil respiration were higher than those of the groundwater level.

**Keywords:** carbon fluxes, chamber measurements, CO<sub>2</sub> emission, peatlands, southern taiga.

## ИЗОТОП $^{14}\text{C}$ В ГУМУСЕ ЧЕРНОЗЕМОВ

И.В. Иванов

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино,  
ivanov-v-28@mail.ru

**Аннотация.** Изучены изменения концентраций  $^{14}\text{C}$  в черноземах: 1) погребенных под насыпями валов и курганов на протяжении 70–5500 лет, 2) в пахотных почвах в сравнении с целинными, 3) в целинных черноземах, не загрязненных «бомбовым»  $^{14}\text{C}$  (природный фон), 4) в гумусе, загрязненном «бомбовым»  $^{14}\text{C}$  в 1960-1990 г.г., и самоочистившемся к 2010 годам вследствие процесса самообновления гумуса. Показано, что самообновление гумуса «предкавказских черноземов» происходит быстрее и на большую глубину, чем в средней полосе. Предложены коэффициент поглощения  $^{14}\text{C}$  гумусом из атмосферы и его применение для оценки исходной концентрации  $^{14}\text{C}$  в почвах на момент погребения.

**Ключевые слова:** концентрация  $^{14}\text{C}$  от эталона, поступление  $^{14}\text{C}$  в гумус, чернозем, самообновление гумуса.

**Задачи исследования.** В работе рассматривается поведение  $^{14}\text{C}$  в гумусе черноземов как научная теоретическая проблема.

**Поступление  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$  в почву, способы выражения данных.** В составе углерода организмов отношение  $^{14}\text{C}/\text{Сорг}$  близко к такому отношению в атмосфере за период их жизни. Источником углерода для них является углерод атмосферы в виде  $\text{CO}_2$  ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ), усваиваемый зелеными растениями и по трофическим цепям поступающий во все другие организмы. Доля  $^{14}\text{C}$  от  $\text{Сорг}$  ничтожно мала –  $10^{-12}\%$ , но она удовлетворительно определяется радиометрически и, особенно, масс-спектрометрически [1].

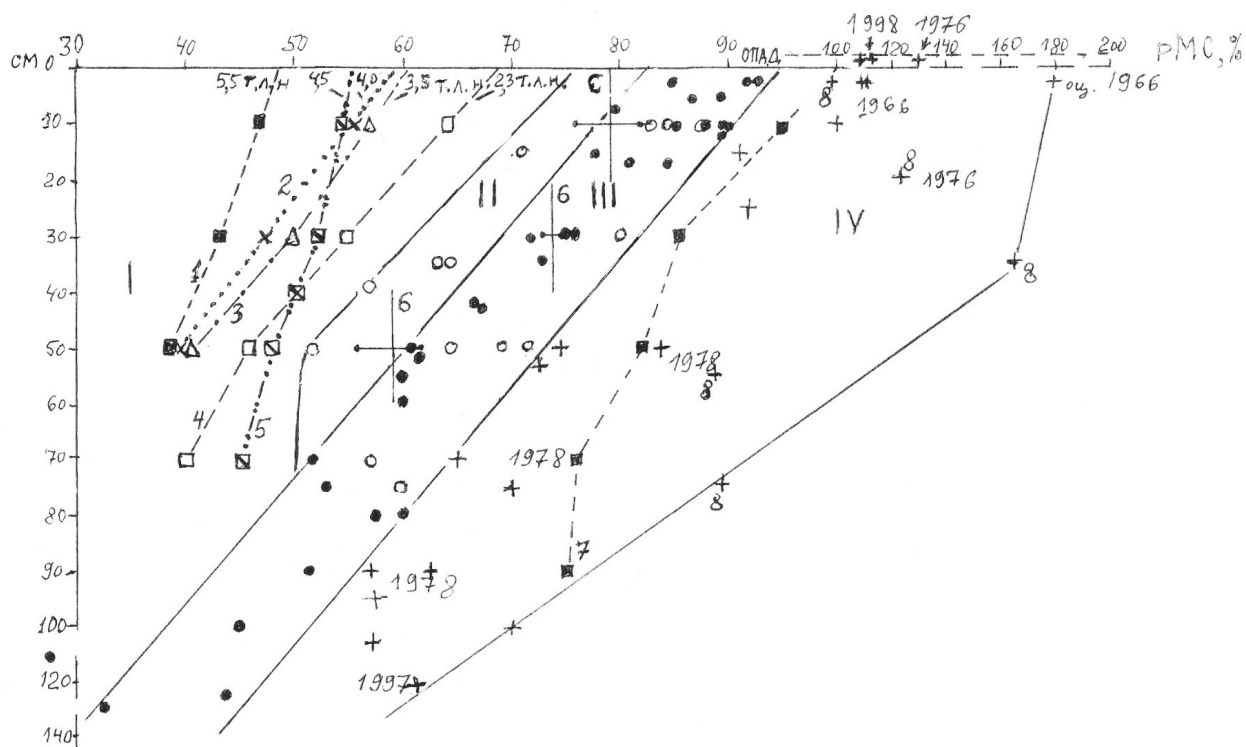
Выражение  $^{14}\text{C}$  в концентрациях от  $\text{Сорг}$  или почвы позволяет определять геохимические отношения  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  в  $\text{Сорг}$  (гумуса) и в массе почвы, применять геохимические подходы.

**Уменьшение концентрации  $^{14}\text{C}$  вследствие радиоактивного распада.** После отмирания организмов их обмен веществ с атмосферой (со средой) прекращается. Концентрация  $^{14}\text{C}$  в тканях начинает уменьшаться вследствие радиоактивного распада. Через 100 лет в тканях организмов и в образующемся из них органическом веществе остается 98,8%  $^{14}\text{C}$  от его исходного количества, 5730 лет – 50%, 10 000 лет – около 30% и около 0,1% через 57 тысяч лет. В качестве эталонов (стандартов) концентрации  $^{14}\text{C}$  в биосферных объектах использовались эталоны Национального бюро стандартов США [1, 2].

В отличие от срубленного дерева или погибшего животного, ткани которых фиксируют концентрацию  $^{14}\text{C}$  в атмосфере времени (лет) их жизни, для гумуса почв невозможно точно определить момент его формирования. Система гумусовых веществ состоит из разных фракций с различным временем формирования, с различными значениями среднего времени пребывания радиоуглерода в гумусе (MRT, лет) и с разным соотношением этих фракций в составе гумуса. Время оборачиваемости – одна из трактовок понятия MRT [2].

**Групповой состав гумуса и  $^{14}\text{C}$ , различия возраста групп и фракций. Пулы гумуса.** Время восприятия гумусом равновесного содержания  $^{14}\text{C}$  из атмосферы равно  $10^2$ – $10^3$  лет. В гумусе осредненно отражаются крупные колебания концентраций  $^{14}\text{C}$  в атмосфере за длительные промежутки времени. Приведем примерные значения MRT основных фракций гумуса черноземов в слое 0-20 см (вычисленные нами по данным исследований 1960-1980 годов): фракции фк1а и фк1-до 170 лет ( $n=3$ ), фк2- ~520 лет (370-530 л,  $n=3$ ) гк1- ~ 790 лет (700–850 л,  $n=3$ ), гк2-~1240 лет (1000-1530 л,  $n=7$ ), фракции гк3 и Н.О.(гм) ~2320 лет (1600–3200 л,  $n=17$ ). Последняя фракция (гм) включает, по нашему мнению, в себя «настоящий гумин» с наибольшим возрастом и, с другой стороны, химически «негидролизуемый», но «молодой» (200 лет) детрит (около 37% от НО)- до 200 лет [3]. Среднее значение MRT для ГК около 1600 лет. Примем 1600 лет за характерное время формирования равновесного содер-

жания  $^{14}\text{C}$  в гуминовых кислотах гумуса черноземов. Различия между фракциями гумуса в верхнем горизонте возрасту и химическому элементному составу также значительны – до 3200 лет и 35 % – по концентрации  $^{14}\text{C}$ , долям О – 6,5%, Н – 11%, С – 16%, N – 1,4% и т.д. [2, 4]. В последние десятилетия стали выделять и исследовать физические и денситометрические фракции гумуса. Различия между фракциями низкой и высокой плотности и фракциями частиц разных размеров по концентрации  $^{14}\text{C}$  достигают 27,7 % относительных [5]. Состав и строение разных фракций гумуса продолжают оставаться химической загадкой, а его исследование – перспективным научным направлением [3, 4].



I, II, III, IV – поля концентраций  $^{14}\text{C}$  и их границы (сплошные линии); 1 – 8 – номера объектов (значки); Годы отбора загрязненных проб: 1966 – годы н.э.; Время погребения почв: 2,3; 3,5; 4,0; 4,5; 5,5 т.л.н. – тысяч лет назад. Поля концентраций  $^{14}\text{C}$ : Поле I – в погребенных черноземах с различной длительностью погребения под искусственными валами и курганами. В средней части черноземной полосы: 2 – у д. Горки Белгородской, 3 – у п. В. Хава Воронежской областей, 4 – у г. Хотин, Украина. В полосе предкавказских черноземов: 1 – у ст. Нововольная, 5 – у х. Саратовский Краснодарского края. Объект 7 (в поле IV) – современный распаханый чернозем у х. Саратовский того же края (фон для объекта 5). Поле II – в распаханых, незагрязненных «бомбовым»  $^{14}\text{C}$ , черноземах средней части черноземной полосы (незалитые кружки), Поле III – в целинных, незагрязненных «бомбовым»  $^{14}\text{C}$ , черноземах средней части черноземной полосы (залитые кружки); в распаханых, незагрязненных «бомбовым»  $^{14}\text{C}$ , черноземах средней части черноземной полосы (незалитые кружки); Объекты 6 – размах концентраций  $^{14}\text{C}$  и интервала отбора пробы в черноземах (средняя полоса), погребенных 70 лет назад в Ямской степи под валиком (высота 70 см), и 370 лет назад у с. Языково под валом засечной черты (высота 1,5 м). Поле IV – образцы черноземов средней полосы, 1966-1997 г.г. отбора, загрязненные «бомбовым»  $^{14}\text{C}$  (крестики). Объекты 8 (у крестиков) –  $^{14}\text{C}$  загрязненных фракций гумуса, выделенных А.Е. Черкинским [7, 8] из чернозема Стрелецкой степи. Объект 7 – в современном распаханном черноземе у х. Саратовский (фон для объектов 5 и 1 поля I)

Рис. 1. Размах концентраций  $^{14}\text{C}$  в углероде гуминовых кислот черноземов Восточно-Европейской равнины (в % от фонового содержания  $^{14}\text{C}$  атмосфере)

Определение реального возраста углеродсодержащих веществ усложняется изменением природной концентрации  $^{14}\text{C}$  в атмосфере во времени. С начала голоцена и до наших дней, согласно сводке В.А. Дергачева [1], они колебательно уменьшались. Их средние значения составляют 99,07% от эталона NBS в атмосфере периода 0-1600 лет назад, и достигают 107% –

для периода 4,6–7 т.л.н. Это приводило к увеличению концентраций  $^{14}\text{C}$  в почвах [1]. Целесообразно ввести понятие « коэффициент усвоения  $^{14}\text{C}$  гумусом из атмосферы  $C_{\text{гум/атм}}$ , равный отношению его в  $C_{\text{орг}}$  почвы к отношению в углероде  $\text{CO}_2$  атмосферы. Диапазоны изменения концентраций  $^{14}\text{C}$  в почвах с глубиной и в пространстве приведены на рисунке (рис. 1).

**Распределение  $^{14}\text{C}$  по профилю незагрязненных целинных черноземов.** Определение природных, незагрязненных концентраций  $^{14}\text{C}$  в гумусе черноземов имеет теоретическое значение в качестве природного эталона. Такие концентрации выявлены при анализе метрового монолита чернозема Каменной степи, отобранного между 1895–1903 гг Р.В. Ризположенским при фоновых концентрациях  $^{14}\text{C}$  в атмосфере Земли того времени [6]. Близкие концентрации  $^{14}\text{C}$  были обнаружены нами в гумусе черноземов 2008–2010 гг. [5]. Не загрязнены также образцы негидролизуемой фракции гуминовых кислот из черноземов Стрелецкой степи (отбор 1960-х гг.) в экспериментах А.Е. Черкинского [7, 8]. Природные, фоновые значения  $^{14}\text{C}$  по этим данным (35 образцов) показаны на рисунке в виде поля III. Известно, что концентрация  $^{14}\text{C}$  в почве с глубиной уменьшается вместе с  $^{12}\text{C}$  вследствие убывания поступления в почву растительных и животных остатков, при разложении которых возникает гумус и другие органические вещества [2, 3, 8].

Концентрация  $^{14}\text{C}$  в почве с глубиной уменьшается постепенно. Одновременно на графиках профильного распределения встречаются уступы-ступени, обусловленные изменениями условий гумусообразования [9, 2, 3]. Крутые уступы, медленное уменьшение величин  $^{14}\text{C}$  с глубиной отражают благоприятные, более влажные интервалы времени (примерно 1,3; 3,0 и 6,7 т.л.н.). Пологие уступы, быстрое падение величин свидетельствуют о засушливых условиях (около 2,3; 4,0; 9 т.л.н.). Следует также упомянуть о гипотезе И.П. Герасимова [2], согласно которой уменьшение концентраций и увеличение  $^{14}\text{C}$ -возраста гумуса чернозема с глубиной обусловлено ростом поверхности почвы вверх вследствие выпадения на неё эоловой лессовой пыли в голоцене. Для голоцена эта идея не подтвердилась, но в других условиях она может найти применение.

Определены различия в профильном распределении  $^{14}\text{C}$  по регионам. В центрально-черноземной полосе концентрация  $^{14}\text{C}$ , как и содержание  $C_{\text{орг}}$ , относительно быстро уменьшается с глубиной, что свидетельствует о замедленном обновлении гумуса с глубиной в современных и в погребенных почвах (поля: I (объекты 2, 3, 4) II, III). В южной части полосы (предкавказские черноземы) – объекты №1, 5 (поле I) и 7 (поле IV), концентрации  $^{14}\text{C}$  и  $C_{\text{орг}}$ , напротив, убывают с глубиной медленнее вследствие большей скорости оборачивания  $C_{\text{орг}}$  в гумусе по профилю из-за более длительного периода биологической активности в почве микроорганизмов и дождевых червей. « $K^{14}C_{\text{гум/атм}}$ » для слоя почвы 0–20 см черноземов средней полосы равен 0,858, для черноземов предкавказских – 0,914.

**Пахотные черноземы.** Концентрация  $^{14}\text{C}$  в гумусе пахотных черноземов в результате распашки по сравнению с целинными черноземами уменьшилось на 5–10% от эталона NBS или на 20% от исходного содержания (поле II) (рисунок). Уменьшение связано с изменением качественного состава гумуса – уменьшением доли лабильного гумуса, обогащенным  $^{14}\text{C}$ , наблюдающегося до глубины 60 см и более.

**Загрязнение гумуса изотопом  $^{14}\text{C}$  при испытании атомных бомб в атмосфере.** Известно, что в период испытаний ядерного оружия в атмосфере концентрации  $^{14}\text{C}$  в ней в 1966–1968 годах достигли 200 % относительно фона 1950 года [1, 10]. Анализ данных о концентрации  $^{14}\text{C}$  в гумусе черноземов периода испытаний [11, 12, 2, 3] свидетельствует о загрязнении гумуса «бомбовым»  $^{14}\text{C}$  (поле IV). Из 120 образцов, отобранных в эти годы, в 31% (40 обр.) концентрация  $^{14}\text{C}$  была выше фоновых (чем в поле III) на 10–20 % . Это показывает, что загрязнение почвы не было сплошным и тотальным. Загрязнились участки почвенной массы, наиболее доступные для миграции вещества – трещины, краевые части педов, почвенных агрегатов, поверхности разделов разных уровней и периферийные части химических структур [4]. А.Е. Черкинский [7, 8] показал, что загрязнены  $^{14}\text{C}$  кислотнорастворимые фракции (фк) и кислотноголизуемая часть фракции гуминовых кислот (ГЧГК) и не была загрязнена её негидролизуемая часть (НЧГК). В профиле почв возникали максимумы концентраций  $^{14}\text{C}$

1966-1968 годов: в поверхностном слое; исчезающие, на протяжении нескольких лет; максимум 1978 года на глубине 50-70 см. На глубине 90-100 см слабый максимум был выражен в 1990-1995 годах. Это свидетельствовало о постепенном перемещении загрязненного материала вглубь профиля, об уменьшении интенсивности максимумов с глубиной и к нашим дням – о самоочищении гумуса от  $^{14}\text{C}$  путем обновления атомов углерода «старых» фрагментов гумуса, «бедных»  $^{14}\text{C}$ , на атомы углерода из «свежего» органического вещества, обогащенного  $^{14}\text{C}$  [7, 8].

**Изменение концентраций  $^{12}\text{C}$  и  $^{14}\text{C}$  в профиле погребенных черноземов в зависимости от длительности погребения** (рисунок, поле I). После погребения в почвы перестает поступать свежее органическое вещество, минерализация гумуса в почве не компенсируется его гумификацией, обновление углерода в гумусе прекращается, содержание гумуса ( $C_{\text{орг}}$ ) в погребенных почвах начинает уменьшаться [13]. В среднем за 300 лет нахождения черноземов в погребенном состоянии в верхнем слое (0-20 см) остается примерно 70 % гумуса от исходного, затем через 1,7 тыс. лет – 50%; через 3 т.л. – 37%; 3,6 т.л. – 36%; 4,2 т.л. – 35%; 5,1 т.л. – 34%, через 17 т.л. – 20%, 37 т.л. – 16% и через 100 т. л. – около 6,5% гумуса от содержания в исходном состоянии в целинной почве (или в среднем 0,3–0,4% от массы суглинисто-глинистой почвы). В период от 100 т.л. до 1 млн лет (и более) общего тренда уменьшения содержания  $C_{\text{орг}}$  в погребенных почвах не наблюдается. Среднее содержание  $C_{\text{орг}}$  в черноземах, погребенных в лессах, в % от почвы (по 50 образцам) равно 0,3%, а колебания для 50% проб ( $Q_2 - Q_3$ ) составляют 0,08–0,69%. Средняя величина отношения  $S_{\text{гк}}/S_{\text{фк}}$  в гумусе погребенных почв за 1 млн. лет погребения остается в пределах 1,51–1,95, сохраняется химическая структура гумуса [13, 14].

Наибольшие различия между потерями  $^{14}\text{C}$  за счет биоминерализации и радиоактивного распада можно наблюдать на протяжении первого тысячелетия, когда происходит резкое большее изменение качественного состава гумуса. Содержание  $C_{\text{орг}}$  в слое 0-20 см чернозема заповедника Ямская степь под валом-насыпью через 70 лет после погребения уменьшилось на 28% от исходного (с 5,45 % до 3,97%). Уменьшение  $C_{\text{орг}}$  произошло за счет половины фракций н.о. и гк-3). Потеря  $^{14}\text{C}$  от исходного составила 9%, из которых только 1% приходится на радиоактивный распад. Содержание  $C_{\text{орг}}$  в почве, погребенной под валом засечной черты у поселка Языково в Белгородской области на протяжении 360 лет, уменьшилось с 5,45 % (целина) до 3,32% или на 2,13% (погр. почва) или на 40% от исходного. Основные потери  $C_{\text{орг}}$  приходятся на фракции н.о., гк-3, а также гк-1 и фк-3. Общая потеря  $^{14}\text{C}$  за 360 лет от исходного составила 14%, и только 4,1% из них за счет радиоактивного распада. После потери лабильной части гумуса уменьшение  $^{14}\text{C}$  в  $C_{\text{орг}}$  происходит преимущественно вследствие радиоактивного распада.

**Формы гумуса в биосфере.** В свете сказанного гумус функционирующих почв предложено называть «живым». Гумус, содержание которого в погребенных почвах уменьшается, а состояние дестабилизировано, обычно называют «фоссильным». Гумус, содержание которого мало изменяется во времени, логично называть «остаточным». Термин «ископаемый гумус» наиболее часто применяется к дочетвертичным почвам [13, 4].

**Заключение.** Изучение распределения по почвенному профилю концентраций  $^{14}\text{C}$  позволяет получать дополнительную информацию о гумусе, объяснять изменение возраста почв, сопоставлять концентрации  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$ , полнее использовать информационные возможности изотопа  $^{14}\text{C}$ . При сопоставлении этих данных расширяются возможности решения вопроса об обновлении, оборачиваемости и круговороте основной массы углерода, его отдельных фракций, пулов, превращений органических соединений, трансформаций органических остатков почвах [15].

## Литература

1. Вагнер Г.А. Научные методы датирования в геологии, археологии, истории. М.: Техносфера, 2006. 576 с.
2. Чичагова О.А. Радиоуглеродное датирование гумуса почв. М.: Наука. 1985. 158 с.

3. Иванов И.В., Хохлова О.С., Чичагова О.А. Природный радиоуглерод и особенности гумуса современных и погребенных черноземов // Изв. РАН. Сер. геогр. 2009. № 6. С. 46–58.
4. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.:ГЕОС, 2015. 233 с.
5. Trumbore S.E. & Zheg S. Comparison of fractionation methods for soil organic matter  $^{14}\text{C}$  analysis // Radiocarbon. 1996. № 38. P. 219–229.
6. Torn M.S., Lapenis A.G., Timofeev A., Fischer M.L., Babikov B.V., Harden J.W. Organic carbon and isotopes in modern and 100-year-old-soil archives of the Russian steppe // Global Change Biology. 2002. № 8. P. 941–953.
7. Иванов И.В., Хохлова О.С., Галицкий В.В., Чичагова О.А., Зазовская Э.П. Радиоуглеродное загрязнение и самоочищение гумуса черноземов Восточно-Европейской равнины в 1900–2008 годах // Почвоведение. 2012. № 8. С. 899–907.
8. Черкинский А.Е. Радиоуглеродный метод в изучении трансформации гуминовых кислот // Почвоведение. 1992. № 1. С. 162–166.
9. Рубилин Е.В., Козырева М.Г. О возрасте русского чернозема // Почвоведение. 1974. № 7. С. 25–31.
10. Quan Hua, Mike Barbetti, Andrzej Z. Rakowski. Atmospheric radiocarbon for the period 1950-2010 // Radiocarbon. 2013. Vol 55, № 4. P. 2059–2072.
11. Александровский А.Л., Чичагова О.А. Радиоуглеродный возраст палеопочв голоцена в лесостепи Восточной Европы // Почвоведение. 1998. № 12. С. 1414–1422.
12. Марголина Н.Я., Александровский А.Л., Ильичев Б.А., Черкинский А.Е., Чичагова О.А. Возраст и эволюция черноземов. М.: Наука. 1988. 144 с.
13. Иванов И.В., Песочина Л.С., Семенов В.М. Биоминерализация органического вещества в современных целинных, пахотных, погребенных и ископаемых черноземах // Почвоведение. 2009. № 10. С. 1192–1202.
14. Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика (на примере Западной Сибири). Новосибирск: Наука, сибирское отделение, 1984. 152 с.
15. Trumbore S. Radiocarbon and Soil Carbon Dynamics // Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 2009. № 37. P. 47–66.

## $^{14}\text{C}$ ISOTOPE IN CHERNOZEMS' HUMUS

I.V. Ivanov

Institution Institute of Physical-Chemical and Biological Problems in Soil Science RAS, Pushchino, Ivanov-v-28@mail.ru

**Summary.** *It has been studied changes of  $^{14}\text{C}$  concentrations in humus of the chernozems: 1) buried under swells' mounds and burial mounds for 70-5500 years, 2) arable as compared to the virgin ones, 3) virgin, not contaminated with "bomb"  $^{14}\text{C}$  (natural background), 4) contaminated with "bomb"  $^{14}\text{C}$  in 1960-1990 years and self-purified to 2010 year due to the humus self-restoration. It has been shown that natural self-restoration of humus at "Ciscaucasian chernozems" occurs quicker and for higher depth relative to the chernozems of the Central Part of European Russia. Determination of absorption coefficient of  $^{14}\text{C}$  by humus from the atmosphere and its application to estimate primary  $^{14}\text{C}$  concentration in soils at burial time has been proposed.*

**Keywords:**  *$^{14}\text{C}$  concentration from reference, supplying of  $^{14}\text{C}$  in humus, chernozem, self-restoration of humus.*

## ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ ДОЗ ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА НА АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ

Д.К. Казеев, А.Н. Федоренко

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, kamil\_kazeev@mail.ru

**Аннотация.** В ходе модельных экспериментов выявлено ингибирование активности каталазы высокими дозами индюшиного помета – 40 и 100 т/га. Из двух вариантов внесения помета – на поверхность почвы (имитация применения при прямом посеве) и внесением с перемешиванием (имитация традиционной технологии со вспашкой) максимально негативный эффект с более чем двукратным снижением активности фермента оказал второй вариант. С повышением дозы помета активность фермента снижалась в обоих вариантах внесения.

**Ключевые слова:** ферментативная активность, биоиндикаторы, плодородие, органическое вещество.

Применение удобрений позволяет собирать высокие урожаи сельскохозяйственных культур. Однако минеральные удобрения дороги. А в случае попадания в поверхностные воды могут приводить к неблагоприятным последствиям для природы. Органические удобрения являются важным источником питания растений, кроме того они улучшают водно-физические свойства почв и повышают содержание гумуса [1].

Бурное развитие птицеводства в России привело к накоплению огромного количества отходов производства, особенно птичьего помета, который может считаться отходом 3-го класса опасности [2]. Ежегодно птицефабрики России производят около 17 миллионов тонн помета [3]. Многолетние накопления птичьего помета в несанкционированных площадях, оврагах, котлованах, заглубленных хранилищах привели к тому, что на их территориях стали образовываться «пометные свалки» и «пометные озера» [4]. Поэтому не прекращаются попытки применения помета в качестве удобрения, благодаря высокому содержанию в нем азота и других элементов питания растений. В настоящее время применению птичьего помета в качестве ценного органического удобрения посвящен целый ряд научных исследований. В литературе обосновываются применение разных доз птичьего помета, максимальные из которых соответствуют дозе внесения помета в почву до 100 т/га [5, 6]. Но более эффективными оказались дозы 10–15 т/га [7, 8]. В опытах Е.В. Агафонова с соавторами [5] при внесении индюшачьего помета ОАО «Евродон» на черноземах ОПХ ДонГАУ на полях подсолнечника при заделке индюшиного помета осенью с помощью дискования оптимальная доза составляет 10–15 т/га, а по вспашке – 10 т/га. Однако до сих пор недостаточно данных о последствиях применения помета для почвенной фауны, микроорганизмов и биологической активности.

Активность почвенных ферментов широко используют при диагностике и индикации экологического состояния почв и уровня их плодородия. При этом данные показатели проявили себя лучше, чем физико-химические и микробиологические параметры [9–13].

Цель работы – определение активности каталазы чернозема обыкновенного при внесении высоких доз птичьего помета.

**Объекты и методы исследований.** В опыте использовали помет индюшиный с птицефабрики «ЕвроДон» (Октябрьский район Ростовской области). Почва для модельных опытов – чернозем обыкновенный, отобранный из пахотного горизонта. Эти почвы широко распространены в Ростовской области и вообще на юге России [14].

В почву помет вносили двумя разными способами – поверхностно и с перемешиванием. Такие варианты внесения помета в почву обусловлены моделированием разных приемов основной обработки почв – традиционной вспашкой и альтернативной технологии прямого посева (No-Till). Экологической оценке этой относительно новой для России технологии посвящен ряд научных работ [15–17].



Опыты проводили в пластиковых контейнерах размером 10×10×5 см, объемом 400 мл. Тест-объекты – семена кукурузы сорта Ладожская, и редиса сорта Французский завтрак. Выбор редиса как тест объекта обоснован низким запасом питательных веществ в семени, вследствие чего он более зависим от условий прорастания и начального роста по сравнению с кукурузой. Кукуруза была выбрана как полевая культура, под которую вносят высокие дозы удобрений. После 18 суток выращивания растений почва образцы были изъяты и высушены.

Активность каталазы определяли газометрическим методом А.Ш. Галстяна в 12 кратной повторности (Казеев и др., 2016).

**Результаты исследований.** Активность каталазы во всех исследуемых вариантах опыта находится на высоком для данного фермента уровне. Значения активности фермента соответствует литературным данным для наиболее биогенных черноземов юга России [11]. В результате модельных исследований активности каталазы установлено ее ингибирование во всех вариантах опыта с внесением помета. Подавление активности каталазы составило 31–54% от контрольных значений. В варианте с дозой 40 т/га поверхностного внесения помета активность каталазы снизилась на 42% от контроля. Дальнейшее повышение дозы вносимого помета до 100 т/га привело к еще большему снижению активности фермента (на 50%). При заделке в почву аналогичного количества помета эффект ингибирования также зависел от дозы вносимого вещества. Максимальная доза, внесенная в почву и перемешанная с ней вызвала самый негативный эффект для активности каталазы. В этом варианте отмечены минимальные значения активности фермента, более чем вдвое уступающие контрольным значениям. По всей видимости, такая реакция фермента связана с токсичностью высоких доз помета, содержащего высокие концентрации аммиака и других веществ, которые подавляют рост и развитие микроорганизмов, продуцирующих ферменты. Такое же ингибирующее воздействие высокие концентрации помета оказали на тест-культуры. Выращиваемые растения в начальные сроки роста и развития также были угнетены высокими концентрациями вносимого помета. Проведенные исследования фитотоксичности раствора помета показали подавляющее воздействие на рост, как кукурузы, так и редиса. Отмечено полное подавление прорастания семян редиса при сверхвысокой дозе помета, соответствующей дозе 100 т/га. Через две недели рост кукурузы даже при высоких дозах помета был уже выше контрольных значений. Ранее аналогичный эффект активности почвенных ферментов был установлен при применении сверхвысоких доз минеральных удобрений [18].

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки РФ (5.5735.2017/8.9) и ведущей научной школы РФ (НШ-3464.2018.11).*

### Литература

1. Вальков В.Ф., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Кузнецов Р.В. Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты. Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального университета, 2008. 416 с.
2. «Федеральный классификационный каталог отходов». Утвержден Министерством природных ресурсов РФ от 02.12.2002 г.
3. Куриный помет. Опасный отход или дополнительная прибыль? URL: [http://elport.ru/articles/kurinyiy\\_pomet\\_opasnyiy\\_othod\\_ili\\_dopolnitelnaya\\_pribyil](http://elport.ru/articles/kurinyiy_pomet_opasnyiy_othod_ili_dopolnitelnaya_pribyil)
4. Птичий помет: Опасные отходы или ценный побочный продукт? URL: <https://fermer.ru/sovet/ptitsevodstvo/3167>
5. Каменев Р.А. Использование птичьего помета для оптимизации питания полевых культур на черноземных почвах в степной зоне Северного Кавказа: дисс. ... д-ра с.-х. наук. Воронеж, 2018.
6. Седых В.А. Экологическая оценка использования куриного помета на почвах таежно-лесной зоны: дис. ... д-ра биол. наук. М., 2013. 386 с.
7. Агафонов Е.В., Каменев Р.А., Манашов Д.А. Влияние индюшиного помета на азотный режим чернозема обыкновенного и урожайность подсолнечника // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4.

8. Теучеж А.А. Применение птичьего помета в качестве органического удобрения // Научный журнал КубГАУ. 2017. № 128 (04).
9. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
10. Dick R.P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality // Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Sci. Soc. Amer., 1994. P. 107–124.
11. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биология почв Юга России. Ростов н/Д: Изд-во ЦВВР, 2004. 350 с.
12. Даденко Е.В., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Оценка применимости показателей ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв // Поволжский экологический журнал. 2013. № 4. С. 385–393.
13. Burns R.G., DeForest J.L., Marxsen J., Sinsabaugh R.L., Stromberger M.E. Wallenstein M.D., Weintraub M.N., Zoppini A., Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions // Soil Biol. Biochem. 2013. V. 58. P. 216–234.
14. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Ростовской области. Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2012. 492 с.
15. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Мясникова М.А., Колесников С.И. Влияние технологии No-Till на эколого-биологическое состояние почв. Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. 140 с.
16. Казеев Д.К. Влияние альтернативной агротехнологии No-till на экологическое состояние Ростовской области /// Экология и природопользование: Ежегодный тематический сборник. Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета. 2017. С. 53–57.
17. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Оценка ферментативной активности черноземов Ростовской области под бинарными посевами подсолнечника // Известия ТСХА. 2017. Вып. 6. С. 141–155.
18. Казеев К.Ш., Тащив С.С. Изменение биологического состояния черноземов при внесении сверхвысоких доз удобрений // Экология и биология почв юга России. Ростов н/Д: Изд-во ЦВВР, 2003. Вып. 2. С. 55–59.

## INFLUENCE OF HIGH DOSES OF BIRCH LITTER ON CATALYSIS ACTIVITY

D.K. Kazeev, A.N. Fedorenko

Southern Federal University, Rostov-on-Don, kamil\_kazeev@mail.ru

**Summary.** *The model experiment showed inhibition of catalase activity by high doses of turkey litter – 40 and 100 tons on ha<sup>-1</sup>. Of the two variants of litter application – on the soil surface (imitation of application for direct sowing) and introduction with mixing (imitation of traditional technology with plowing), the second variant had the most negative effect with more than twofold decrease in the activity of the enzyme. With the increase in the introduced dose of the litter, the activity of the enzyme decreased.*

**Keywords:** *enzymatic activity, bioindicators, fertility, organic matter.*

## ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС МИКРОБНОГО ПУЛА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ДЕГРАДАЦИИ ЦЕОЛИТОВОЙ ПОРОДЫ ХОТЫНЕЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.В. Козлов

Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина, Нижний Новгород,  
a\_v\_kozlov@mail.ru

**Аннотация.** В настоящей статье рассматривается реакция сапротрофной и аммонифицирующей микробных популяций, выделенных из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы Нижегородской области, на вещество цеолита Хотынецкого месторождения, на основе чего впоследствии оценивается эколого-физиологический статус данных микроорганизмов по отношению к изучаемой высококремнистой породе. Описанная реакция микробных комплексов в виде положительной динамики численности и протеазной активности свидетельствует о прямом деструкционном взаимодействии бактериальных культур с цеолитовой породой, что, в свою очередь, может предполагать их активную реакцию с данным материалом и органическим веществом самой почвы с последующим высвобождением в почвенный раствор различных питательных элементов и в целом – стабилизацию бактериальных L-стратегов в общем эколого-физиологическом статусе микробиоценоза почвы.

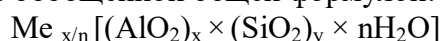
**Ключевые слова:** цеолит Хотынецкого месторождения; дерново-подзолистая легкосуглинистая почва; бактериальные L-стратеги; общие почвообитающие сапротрофы; аммонификаторы; система «порода–культура»; жизнеспособность бактериальной культуры; протеолитическая ферментативная активность; устойчивость эколого-физиологического статуса почвенного микробиоценоза.

Исследование состояния эколого-физиологического статуса почвенно-биотического комплекса (ПБК) в условиях воздействия на почвы со стороны различных агротехнических приемов и применения удобрений является ключевой задачей при решении вопросов о степени и направленности трансформации вещества в почвенном теле. В том числе и в условиях внесения в почвы нетрадиционных удобрительных веществ, которым в настоящее время уделяется особое внимание. В частности, к таковым относят природные высококремнистые породы [1–3], которые обладают самыми разными положительными свойствами, но, при этом, их взаимодействие с твердой фазой почвы и, в особенности, с ее «живой» составляющей, пока остается наименее изученным аспектом. В данном случае весьма значимым остается выявление чистой потенциальной способности сапротрофных микроорганизмов к деструкции вещества кремнийсодержащих материалов и, как следствие, отслеживание изменений в экологическом статусе данной микробиоты.

Целью настоящего исследования явилась оценка потенциальных изменений в бактериальной популяции основных сапротрофов, выделенных из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы Нижегородской области, при биохимической деструкции цеолитовой породы.

Объектом исследования явился цеолит Хотынецкого месторождения (Орловская область) и две группы сапротрофных микроорганизмов, выделенных из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы.

Цеолиты представляют собой гидратированные каркасные алюмосиликаты щелочных и щелочноземельных металлов с обобщенной общей формулой:



Кристаллическая решетка цеолитов построена из четырех-, пяти-, шестизначных и более колец, образованных кремнекислородными тетраэдрами. То или иное количество атомов замещено алюминием. В результате такого строения во внутрикристаллическом пространстве цеолитов образуется система соединенных между собой и окружающей средой каналов и полостей, в которых располагаются катионы кальция и натрия, реже калия, магния, бария, стронция, лития и молекулы «цеолитовой» воды.

Пористая открытая микроструктура цеолитов предопределяет уникальные их полезные свойства, в том числе для применения в сельском хозяйстве. Возможность широкого применения в сельском хозяйстве цеолитсодержащих пород обусловлена не только их уникальными адсорбционно-структурными характеристиками, но и уникальными свойствами кремния. Некоторые свойства Хотынецкой цеолитовой породы отражены в таблице 1 в виде химического состава [3].

Т а б л и ц а 1

**Обобщенный химический состав цеолита Хотынецкого месторождения**

Цеолит	ИЕ*	Элемент в оксидной форме (на абс.-сух. вещество)				
		SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Валовая форма, %	48	56,6	0,23	1,82	13,30	1,90
Подвижная форма, мг/кг		7950	260	250	4800	1600

\* Ионообменная емкость, мг-экв./100 г.

Биохимическое взаимодействие цеолита с бактериальными культурами сапротрофных групп микроорганизмов изучали в серии моделируемых лабораторных экспериментов, проведенных в 2017 году на базе научно-образовательного центра «Биотехнология» и лабораторного комплекса «Эколого-аналитическая лаборатория мониторинга и защиты окружающей среды» Мининского университета.

Накопительную культуру общего комплекса сапротрофных бактерий получали путем засева жидкого варианта стерильного глюкозо-пептонно-дрожжевого агара (ГПДА с разбавлением рецептурного количества агар-агара в 10 раз), а культуру аммонифицирующих бактерий – жидкого варианта стерильного мясопептонного агара (МПАЮ аналогичное разбавление) навеской подготовленной почвы и культивирования бактериальных биомасс в термостате в течение 7 суток при температуре +25...+27°C [4, 5].

Затем производили засев испытуемого цеолита полученными бактериальными комплексами. Опыты ставили в стерильных конических колбах на 100 мл, в которые асептически помещали по 40 мл селективной жидкой питательной среды и по 1,000±0,001 г высушенной кремнийсодержащей породы, после чего полученную систему асептически заседали по 10 мл суспензии 7-и суточной накопительной культуры выращенных бактериальных комплексов.

Засеянные колбы помещали в термостат и культивировали при +25...+27°C в течение 30 суток; 2 раза в сутки содержимое колб встряхивали в течение 1-го часа на шейкере. Через определенные интервалы времени (на 1, 3, 5, 7, 10, 12, 15, 20, 25 и 30 день культивирования) производили определения микробиологических и биохимических показателей содержимого колб. В системе «порода–культура» определяли численность живых клеток и протеазную ферментативную активность; повторность в опытах четырехкратная.

Определение протеазной активности бактериальной суспензии обеих питательных сред проводили по прописям определения ферментативной активности почвы с переложением методик на чистую биомассу бактерий (культуральную жидкость) без гомогенизирования бактериальных клеток классическим нингидриновым спектрофотометрическим методом по Галстяну и Арутюнян [6].

Численность бактериальных комплексов в культуральных жидкостях систем «порода–культура» определяли с помощью обычной световой и люминесцентной микроскопии с акридином оранжевым на микроскопе «БиoТех-330-LED2-Tr».

Математическую обработку полученных данных проводили методом вариационного анализа по Б.А. Доспехову [7] с использованием программного пакета Microsoft Office Excel.

Экологический статус сапротрофного микробного пула в почве заключается в L-отборе (или отборе неблагоприятных условий), который проявляется в виде массового размножения популяций микроорганизмов, обычно пребывающих в незначительных количествах, но способных резко увеличивать свою плотность населения при сезонных опадках трав- и древесной, а также при внесении в почву различных органических удобрений. L-стратеги отличаются устойчивостью к стрессовым ситуациям и, как следствие, способностью к перенесению

экстремальных условий существования. К таким микроорганизмам относится вся гидролитическая микрофлора, способная выделять аналогичные гидролазные экзоферменты.

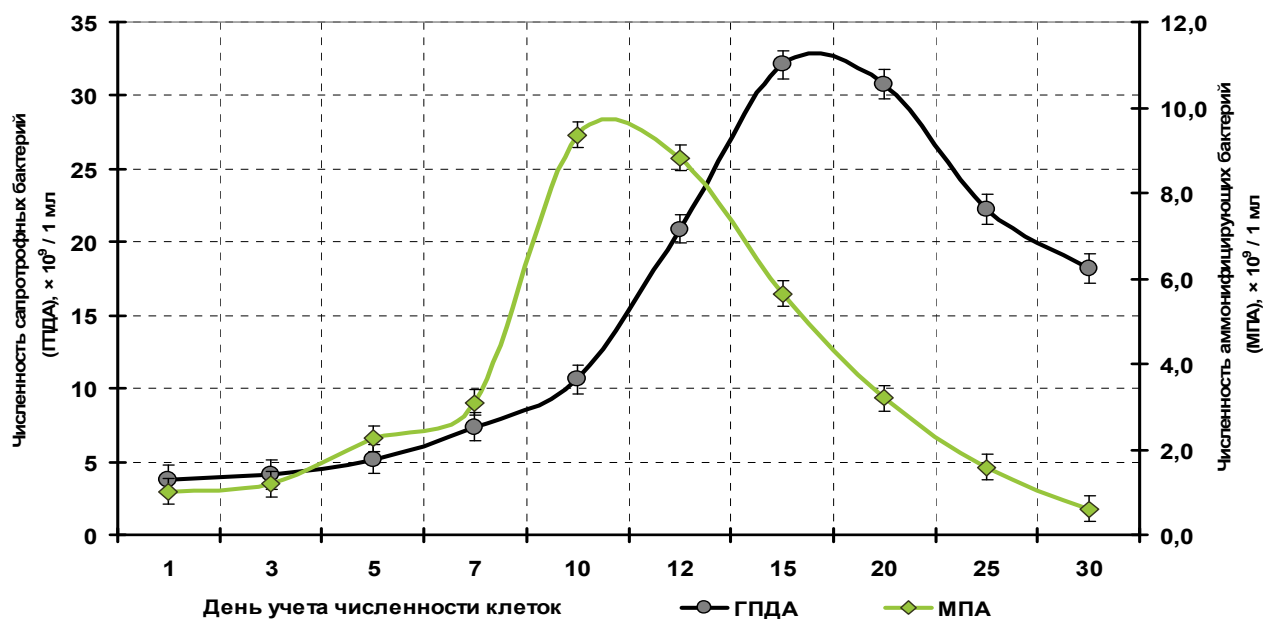


Рис. 1. Динамика численности живых клеток общего сапротрофного (ГПДА) и аммонифицирующего (МПА) бактериальных комплексов при биохимической деградации цеолита

Поэтому совместная оценка численности вышеупомянутых групп микробиоценоза из категории L-стратегов и гидролитической ферментативной активности почвы являются наиболее предпочтительными в изучении влияния последствий от применения удобрительных веществ на процессы преобразования органического вещества почвы и, в частности, при оценке дальнейшей значимости использования диатомита в качестве мелиоранта и микробиологического стабилизатора.

Данные рисунка 1 отражают состояние и динамику численности общих сапротрофов и аммонификаторов, выделенных из дерново-подзолистой почвы, при взаимодействии с цеолитовой породой.

Было выявлено, что чистая микробная биомасса обеих рассматриваемых культур способна расти и изменяться в численности на среде, обогащенной цеолитовой породой. Пик наибольшего количества живых клеток пришелся на 15-ый день культивирования системы «порода + ГПДА–культура»:  $32,11 \times 10^9 / 1$  мл общих сапротрофов и на 10-ый день культивирования системы «порода + МПА–культура»:  $9,37 \times 10^9 / 1$  мл аммонифицирующих бактерий. Далее шел спад числа жизнеспособных клеток, который несколько различался по культурам. Так, если аммонификаторы достаточно резко погибали и на 30-ый день культивирования достигли в числе  $0,61 \times 10^9 / 1$  мл, то общие сапротрофы вторую половину экспозиции культивирования плавно снижали свое количество и только лишь к концу сократившись до  $18,18 \times 10^9 / 1$  мл.

Поскольку в структуру общих сапротрофов, выделенных из почвы на ГПДА, входят как непосредственно бактерии-гидролитики, так и копиотрофы и олиготрофы, можно предположить, что именно за счет бактериального разнообразия весь комплекс сохраняет свою устойчивость более продолжительное время.

Однако, несмотря на столь отзывчивую реакцию рассматриваемых групп бактерий на вещество цеолита, активность их протеолитических ферментов в целом оказалась существенно низкой по уровню (рис. 2).

Аналогично численности жизнеспособных клеток пик протеазной активности также пришелся на 10–15-й дни и также в существенной разнице различался между культуральными

жидкостями: до 10,97 мкг глицина/1 мл/24 ч по ГПДА-культуре и до 3,69 мкг глицина/1 мл/24 ч по МПА-культуре.

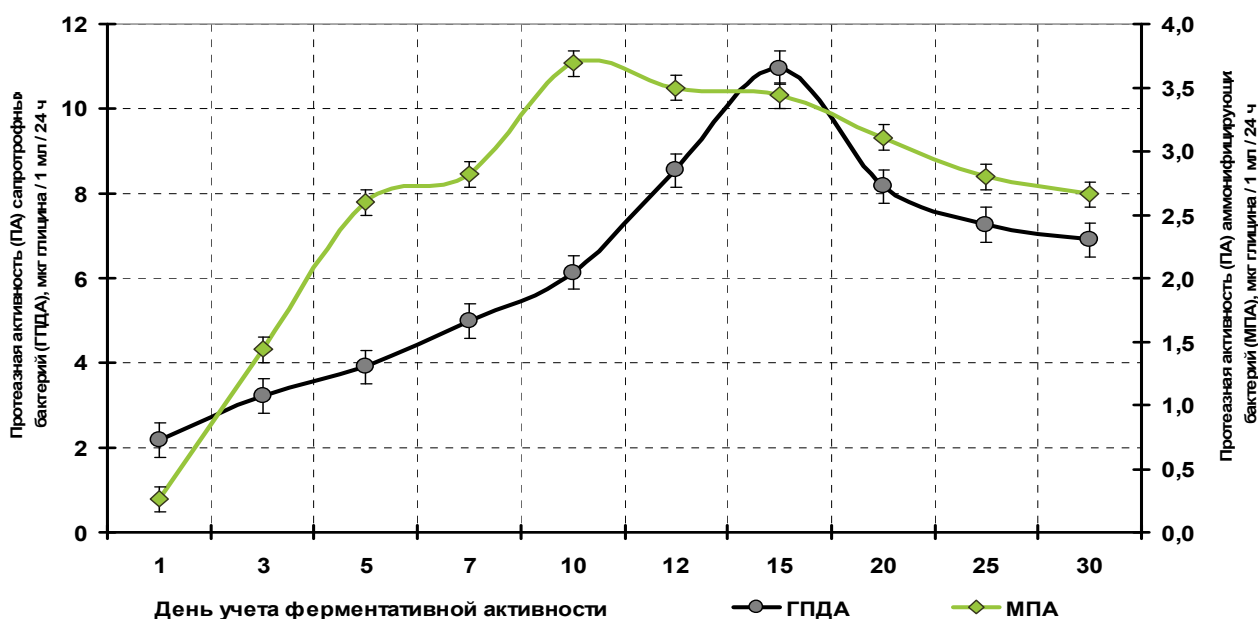


Рис. 2. Динамика протеазной ферментативной активности бактериальных суспензий сапротрофного (ГПДА) и аммонифицирующего (МПА) комплексов при биохимической деградации цеолита

Спад ферментативной активности при деградации породы происходил относительно постепенно в условиях его взаимодействия с общим сапротрофным комплексом (до 6,90 мкг глицина/1 мл/24 ч) и более резко – в системе «порода–культура» с аммонифицирующей бактериальной суспензией (до 2,66 мкг глицина/1 мл/24 ч).

По-видимому, наличие положительной реакции в жизнеспособности сапротрофных бактерий и их ферментативной активности объясняется питательными и каталитическими свойствами цеолита, которые, в свою очередь, активизируют процессы минерализации органического вещества питательных сред наряду с материалом породы.

В результате проведенных исследований была установлена положительная реакция сапротрофного микробного пула, выделенного из дерново-подзолистой почвы Нижегородской области, на вещество цеолита Хотынецкого месторождения. На основе полученных данных можно предполагать, что экологическо-физиологический статус рассмотренных бактериальных популяций в самой почве активизируется при совместном взаимодействии цеолитовой породы и почвенного органического вещества, что приведет к повышению устойчивости всего микробиоценоза L-стратегии выживания как начальной стадии микробиологической переработки органических компонентов в почвенном теле.

## Литература

1. Бочарникова Е.А., Матыченков В.В., Матыченков И.В. Кремниевые удобрения и мелиоранты: история изучения, теория и практика применения // *Агрохимия*. 2011. № 7. С. 84–96.
2. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Аммосова Я.М. Влияние кремниевых удобрений на растения и почву // *Агрохимия*. 2002. № 2. С. 86–93.
3. Дистанов У.Г. Минеральное сырье. Опал-кristобалитовые породы: справочник. М.: Геоинформарк, 1998. 27 с.
4. Практикум по микробиологии / Под ред. А.И. Нетрусова. М.: Академия, 2005. 608 с.
5. Безбородов А.М., Квеситадзе Г.И. Микробиологический синтез. СПб.: Проспект Науки, 2011. 144 с.
6. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.

7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: ИД Альянс, 2011. 352 с.

## **ECOLOGY-PHYSIOLOGICAL STATUS OF CESPITOSE-PODSOLIC SOIL MICROBIC POOL OF THE NIZHNY NOVGOROD REGION AT DEGRADATION OF ZEOLITE BREED OF THE HOTYNETSKY FIELD**

A.V. Kozlov

Minin Nizhny Novgorod state pedagogical university, Nizhny Novgorod, a\_v\_kozlov@mail.ru

**Summary.** *In the present article reaction of the saprotrophic and ammonification microbial populations allocated from the cespitose and podsolic sandy loam soil of the Nizhny Novgorod Region to substance of zeolite of the Hotynetsky field is considered on the basis of what the ecological and physiological status of these microorganisms in relation to the studied high-siliceous breed is estimated subsequently. The described reaction of microbial complexes in the form of positive dynamics of number and proteolytic activity demonstrates direct destruction interaction of bacterial cultures with zeolite breed that, in turn, can assume their active reaction with this material and organic substance of the soil with the subsequent release in soil solution of various nutritious elements and in general – stabilization of bacterial L-strategists in the general ecological and trophic status of a microbiocenosis of the soil.*

**Keywords:** *zeolite of the Hotynetsky field; cespitose and podsolic sandy loam soil; bacterial L-strategists; general soil genesis saprotrophic microorganisms; ammonification microorganisms; breed culture system; viability of bacterial culture; proteolytic enzymatic activity; stability of the ecological and physiological status of a soil microbiocenosis.*

## ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОЧВ ЮЖНОГО ПРЕДБАЙКАЛЯ

А.А. Козлова

Иркутский государственный университет, Иркутск, allak2008@mail.ru

**Аннотация.** В работе рассматриваются особенности экологических функций почв Южного Предбайкалья, основу которых составляют гидротермические свойства, содержание питательных веществ и гумуса и пр. Именно они обеспечивают скорость и интенсивность микробиологической активности почв, состояние фитоценозов, т. е. обуславливают процесс функционирования почв, определяемый как совокупность современных процессов, происходящих в почве, обеспечивающих жизненное пространство организмов.

**Ключевые слова:** гидротермические свойства почв, питательные элементы, гумус, микробиологическая, активность, продуктивность фитоценозов.

Почвообразование является частью круговорота веществ и энергии, происходящего между приземным слоем атмосферы, верхними слоями литосферы, грунтовыми водами и живыми организмами и в различных ландшафтах этот процесс идет по-разному. Наиболее существенна роль почвы в качестве среды обитания живых организмов, поскольку она обладает определенным набором свойств (гидротермическими, питательными и др.) и предоставляет им жизненное пространство. Почва является неотъемлемым компонентом экосистем и осуществляет одну из главных своих экологических функций почв – биогеоценотическую (экосистемную). Сохранение разнообразия почв, их экологических функций, должно быть одним из важнейших условий реализации концепции сохранения биоразнообразия. Однако, выполнение задач по их сохранению не осуществляется должным образом, что ведет к утрате природных экосистем, их почвенного и биологического разнообразия [1, 2].

**Объекты и методы исследования.** В почвенном покрове региона присутствуют типы почв, свойственные подтайге: дерново-подзолистые, дерново-карбонатные, дерновые лесные; лесостепи: серые лесные, черноземы выщелоченные, настоящей и сухой степи: черноземы обыкновенные, каштановые. Они и составляют основу почвенного покрова Южного Предбайкалья, обуславливают его разнообразие и являются объектами данного исследования.

Изучение экологических свойств почв проведено общепринятыми методами [3, 4]: органический углерод в почве – методом Тюрина в модификации Никитина с дальнейшим пересчетом на гумус; валовой азот – методом Кьельдаля; подвижные формы азота: аммиачные – методом Несслера, нитратные – методом Грандваль-Ляжу (дисульфифеноловый метод), естественная влажность – термостатно-весовым методом; температура почв измерялась при помощи терматурного щупа.

Запасы надземной фитомассы определялись по общепринятой методике [5] на модельных площадках  $50 \times 50 \text{ см}^2$ , в 4-ю декаду июля и 1-ю декаду августа. Биохимическую активности почв (БАП) определяли экспресс-методом [6], сущность которого состоит в том, что регистрируется скорость (в часах) разложения азотсодержащего органического соединения (карбамид) и изменения рН воздушной среды на 1,5–2,0 единицы за счет выделения аммиака.

**Обсуждение результатов.** Функционирование почв в подтаежных, лесостепных и степных ландшафтах региона имеет свои сходства и различия. Наименьшие различия наблюдаются в температурном режиме почв, характерной особенностью которых является длительное (около 8 месяцев) и глубокое (1,5–3,5 м) промерзание, сравнительно небольшая мощность активного слоя почвы. Устойчивые активные температуры (выше  $10^\circ$ ), устанавливаются на глубине 20 см в третьей декаде мая и держатся до конца августа-начала сентября, т.е. 95–100 дней. В конце июля – августе указанные температуры опускаются до глубины 100–120 см, и ниже 50–60 см они держатся лишь в течение 1–1,5 месяцев.



**Послойные запасы влаги и веществ, температура, биологическая активность почв (БАП),  
продуктивность фитоценозов подтайги, лесостепи, настоящей и сухой степи**

Мощность слоя, см	Запасы, т/га			Содержание подвижного азота (N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub> ), мг/кг	t° С почвы в июле	БАП* (степень)	Фитомасса, т/га	
	вла- ги	гумуса	общего азота				сырая	сухая
<b>Почвы подтайги</b>								
Разрез 32. Дерново-подзолистая								
0-20	479	25	5	43	18	Средняя(II)	3,3	2,6
0-50	1139	43	15	69	16	Низкая (III)		
0-100	2293	59	29	84	14	Низкая (III)		
Разрез 21. Дерново-карбонатная (бурозем темногумусовый остаточно-карбонатный)								
0-20	518	94	4	41	22	Высокая (I)	4,9	2,1
0-50	1271	226	7	60	19	Средняя(II)		
0-100	2269	277	9	73	15	Низкая (III)		
Разрез 4. Дерновая лесная (бурозем оподзоленный)								
0-20	550	60	4	56	21	Высокая (I)	24,5	9,2
0-50	2062	83	6	82	20	Средняя(II)		
0-100	3569	134	9	134	19	Низкая (III)		
<b>Почвы лесостепи</b>								
Разрез 2. Серая лесная (серая метаморфическая)								
0-20	296	68	4	36	20	Высокая (I)	15,2	4,1
0-50	717	96	5	58	18	Средняя(II)		
0-100	1706	141	6	81	16	Низкая (III)		
Разрез 3. Серая лесная (серая типичная)								
0-20	174	82	2	13	19	Высокая (I)	12,9	4,0
0-50	452	98	3	21	18	Средняя(II)		
0-100	813	112	4	29	13	Низкая (III)		
Разрез 1М. Светло-серая лесная (дерново-буро-подзолистая)								
0-20	238	84	7	47	18	Средняя(II)	10,8	3,3
0-50	710	129	10	66	17	Низкая (III)		
0-100	1727	158	12	81	15	Низкая (III)		
Разрез 8. Чернозем выщелоченный (глинисто-иллювиальный)								
0-20	62	142	3	47	27	Высокая (I)	0,7	0,4
0-50	299	337	16	86	23	Средняя(II)		
0-100	831	436	17	125	18	Низкая (III)		
<b>Почвы настоящей и сухой степи</b>								
Разрез 10Б. Чернозем обыкновенный (дисперсно-карбонатный)								
0-20	43	87	7	74	29	Высокая (I)	0,4	0,2
0-50	195	215	18	125	24	Высокая (I)		
0-100	518	270	23	177	20	Средняя(II)		
Разрез ТС-2-09. Каштановая типичная								
0-20	114	100	5	65	31	Высокая (I)	0,3	0,1
0-50	204	187	12	97	25	Высокая (I)		
0-100	348	250	17	123	21	Средняя(II)		

*Примечание.* Высокая (I степень) биологической активности характеризуется смещением рН в течение нескольких минут до 4 часов; средняя (II степень) – от 4 до 8 часов; низкая (III степень) – свыше 8 часов.

Установлено, что исследуемые почвы региона обладают большими запасами холода в весенне-летний период. Причем в почвах степных ландшафтов амплитуда колебаний температуры, как сезонных, так и суточных, заметно выше, чем в лесных. Они промерзают на большую глубину, а основными факторами глубокого промерзания являются длительная и суровая зима, малая мощность снегового покрова. Для них характерна сравнительно небольшая мощность активного слоя почвы.

Температурный режим всех исследуемых почв по В.Н. Димо [7] можно отнести к типу длительно сезоннопромерзающих почв, фациальному подтипу умеренно холодных длительно промерзающих почв. Причем, почвы лесных ландшафтов за период наблюдений на 5–13° С оказались прохладнее степных (таблица).

В целом, длительные, низкие температуры почвы ограничивают активную микробиологическую деятельность коротким периодом и небольшой глубиной, сокращают и без того короткий вегетационный период, способствуют поверхностному распространению корней растений, концентрацией основной их массы в небольшом по мощности слое почвы.

Специфика термического режима почв оказывает большое влияние на их водный режим, который в исследуемых почвах подтайги – периодически промывной тип, связанный с неравномерностью выпадения осадков, в лесостепи и степи – непромывной (импермацидный) [8]; подтип – криогенный, характеризующийся недостаточным увлажнением при наличии поздно оттаивающей сезонной мерзлоты. Для них характерно появление условий для сквозного промачивания только в конце августа и в начале сентября. Весной над слоем сезонного промерзания нередко наблюдается верховодка, при этом происходит увеличение запасов влаги в верхнем полуметре, что объясняется подтоком ее из нижележащего талого слоя в процессе замерзания, причем накопление влаги тем больше, чем больше градиент влажности примерзающего и незамерзающего слоя. Поэтому дерновая лесная почва обладала максимальными запасами влаги во всех слоях (см. таблицу).

В почвах степей наблюдается ряд особенностей, одной из которых является очень малая мощность верхней зоны почвы, увлажняемой атмосферными осадками, что объясняется сравнительно небольшой годовой суммой осадков и неравномерным характером распределения их по сезонам года. Преобладающая часть осадков выпадает в жаркие летние месяцы и полностью расходуется из почвы на физическое испарение. Талые воды также принимают очень небольшое участие в увлажнении почвы, так как оттаивание почвы начинается лишь в самом конце периода снеготаяния. Другая отличительная черта профиля влажности почв степных ландшафтов региона – это наличие в нем на глубине от 100 до 200 см зоны повышенной влажности, который представляет сезоннодлительномерзлый горизонт. Благодаря ему лесостепь и степь Восточной Сибири даже в самые засушливые годы не испытывают катастрофических засух и полных неурожаев [9, 10].

В целом, за летний период основные изменения влажности отмечаются, главным образом, в верхнем полуметре, откуда и происходит расход влаги на испарение и транспирацию растениями. В более глубоких слоях почв отмечается слой повышенного увлажнения. Наиболее сухой в 0–20 м и полуметровой толще оказался чернозем обыкновенный, а в метровой – каштановая почва (см. таблица).

Как известно, смена климатических условий определяет изменение в пространстве растительного покрова. Влияние растительности как ведущего экологического фактора в почвообразовании исключительно велико, так как характер растительности нередко определяет направление почвообразования [2]. Современный растительный покров в южной части Предбайкалья представлен растительными сообществами бореального и степного типов. Основной закономерностью пространственной дифференциации растительного покрова является высотная (вертикальная поясность) с преобладанием бореальной растительности [11]. По данным В.М. Бояркина [12] естественная продуктивность растительного покрова в таежных геосистемах Средней Сибири в южных районах составляет в среднем около 6,0 т/га сухой массы. В исследуемых почвах средние значения продуктивности надземной фитомассы составили: 11,9 т/га – сырой и 3,15 т/га – сухой, что оказалось почти в 2 раза ниже ее средних значений (см. табл.). Максимально продуктивной оказалась дерновая лесная почва (бурозем оподзоленный) разреза 4, что, по-видимому, связано с оптимальными гидротермическими условиями и уровнем плодородия. Наименее продуктивными оказались дерново-подзолистая и дерново-карбонатная почва (бурозем темногумусовый остаточно-карбонатный), что обусловлено более экстремальными условиями реакции среды либо кислой, либо щелочной, поскольку по остальным параметрам они были сходны с другими почвами.

Степная растительность Южного Предбайкалья носит островной характер и занимает нижнюю ступень вертикальной поясности, смещенную к подножью южного склона Лено-Ангарского плато или Предбайкальского хребта. Естественная продуктивность степных комплексов Иркутской области, в 10–20 раз ниже таежных и соответствует 0,6–0,7 т/га сухой

массы [12]. Продуктивность фитомассы в исследуемых почвах степных ландшафтов оказалась заметно ниже средних значений региона. Наиболее продуктивным оказался чернозем выщелоченный (глинисто-иллювиальный), количество надземной фитомассы которого составили: 0,7 т/га – сырой и 0,4 т/га – сухой. Минимальные ее значения наблюдались у каштановой почвы: 0,3 т/га – сырой и 0,1 т/га – сухой. Продуктивность фитоценоза чернозема обыкновенного (дисперсно-карбонатного) заняла промежуточное положение с 0,4 т/га сырой и 0,2 т/га сухой фитомассы (см. таблицу).

Характеристика запасов гумуса и валового азота дает представление о потенциальном уровне плодородия почв, которые зависят от содержания гумуса и азота, мощности гумусо-аккумулятивного горизонта. Данные о количестве подвижного азота (суммы аммиачного и нитратного) могут говорить об уровне актуального плодородия почв. Так, основные запасы органического вещества в исследуемых почвах подтаёжных и лесостепных ландшафтов сосредоточены в небольшом по мощности верхнем 20-ти сантиметровом слое (см. табл.). Это связано с местными особенностями почвообразования, а именно поверхностным распространением корневых систем растений, сосредоточением основной их массы в небольшом по мощности слое почвы, а также, небольшой подвижностью гумуса в условиях слабой промачиваемости почв. Согласно градации, предложенной Э.Л. Гришиной и Д.С. Орловым [13] запасы гумуса в 0-20 см слое исследуемых почв оцениваются как низкие, так как их значения находятся в пределах 50-100 т/га, а в дерново-подзолистой почве как очень низкие, где они составили всего 38 т/га. В полуметровой и метровой толще они также оказались невелики и по своим значениям близки к таковым в почвах европейской части России. Запасы гумуса в исследуемых почвах травянистых ландшафтов оцениваются как средние и низкие, их значения находятся в пределах 100-150 (200-400) т/га, что заметно ниже, чем в европейских аналогах.

Что касается валового азота, то максимальное его количество было встречено в дерново-подзолистой и светло-серой лесной (дерново-буро-подзолистой) почве, в остальных оно было минимальным (см. таблицу). Однако, наибольшее содержание подвижного азота (суммы аммиачного и нитратного) обнаружилось в дерновой лесной почве, а наименьшее – в серой лесной почве (серой типичной), имеющей легкий гранулометрический состав. Наблюдаемое количество валового и подвижного азота в почвах степных ландшафтов оказалось более значительным, чем почвах подтайги и лесостепи, его значения были примерно равны во всех трех исследуемых почвах степного ряда, что говорит о более высоком уровне потенциального и актуального плодородия данных почв по сравнению почвами лесных ландшафтов.

Применение экспресс-метода определения биологической активности почв [6] показало, что для почв подтайги и лесостепи характерна высокая (I степень) биологической активности для верхнего 20-ти см слоя почв, что может являться причиной потери азота почвой (см. табл.). Исключение составили дерново-подзолистая и светло-серая почва (дерново-буро-подзолистая), где наблюдалась средняя (II степень) БАП, что, по-видимому, обуславливается низкой их прогреваемостью. Данная зависимость соблюдается и для полуметровой толщи исследуемых почв, так как на метровой глубине все почвы показали низкую (III степень) биологической активности.

В почвах степных ландшафтов уровень биологической активности почв оказался самым высоким (I степень) и был характерным для верхней полуметровой толщи, так как температура здесь была выше. С глубиной темпы биологической активности снизились и на метровой отметке они достигли среднего уровня (II степень) в черноземе обыкновенном (дисперсно-карбонатном) и каштановой почве и низкого (III степень) в черноземе выщелоченном (глинисто-иллювиальном). В целом региональной спецификой почвообразования является короткий, но интенсивный период биологической активности почв, который длится всего 1–1,5 месяца.

**Заключение.** Изучение особенностей функционирования почв подтаежных, лесостепных и степных ландшафтов региона показало различное поведение двух компонентов биологического фактора: растительности и микробиоты. Установлено, что показатель увлажненности почв стал решающим в образовании большего количества надземной фитомассы в лесных

ландшафтах по отношению к степным. Фактором, лимитирующим биологическую активность почв, оказался температурный режим почв, их прогреваемость. Поэтому в почвах степных ландшафтах, как более теплых, биологическая активность оказалась, заметно выше и ее проникновение было глубже, чем в почвах лесных ландшафтов. Это повлияло на формирование мощности гумусовых горизонтов, запасов гумуса и азота, которые были максимальны в почвах степей, а минимальны в дерново-подзолистой почве подтайги.

В связи с холодностью почв лесных ландшафтов, их повышенной увлажненностью, большой устойчивостью гумуса, развитием здесь густого травянистого покрова, их низкой биологической активностью, темпы разложения органического вещества замедлены. В почвах степей ограниченный период с оптимальной температурой и влажностью обеспечивает гумификацию растительных остатков, но иногда в отдельные более теплые и сухие годы их частичную минерализацию.

### Литература

1. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы. М.: Наука, 2000. 185 с.
2. Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия / отв. ред. Г.В. Добровольский, И.Ю. Чернов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 273 с.
3. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
4. Агрохимические методы исследования почв: Руководство / под ред. А.В. Соколова. М.: Наука, 1975. 656 с.
5. Программа и методика биогеоценотических исследований. М.: Наука, 1974. 401 с.
6. Аристовская Т.В., Чугунова М.В. Экспресс-метод определения биологической активности почвы // Почвоведение. 1989. № 11. С. 142–147.
7. Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР. М.: Колос, 1972. 359 с.
8. Роде А.А. Водный режим почв и его регулирование. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 119 с.
9. Колесниченко В.Т. Водно-тепловой режим и агрофизические свойства черноземов выщелоченных лесостепи Восточной Сибири // Почвы, удобрения и урожай в лесостепи Прибайкалья. Восточ-Сиб. кн. изд-во, 1965. С. 42–61.
10. Козлова А.А., Макарова А.П. Экологические факторы почвообразования Южного Предбайкалья. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2012. 163 с.
11. Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. Москва; Иркутск, 2004. 90 с.
12. Бояркин В.М. Географическое значение континентальности климата Средней Сибири // Проблемы изучения и рационального использования природы Восточной Сибири. Иркутск, 1981. С. 42–59.
13. Гришина Л.А. Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 42–47.

### FEATURES OF SOIL PREBAYKAL SOIL FUNCTIONING

A.A. Kozlova

Irkutsk State University, Irkutsk, allak2008@mail.ru

**Summary.** *The peculiarities of the ecological functions of the soils of the Southern Baikal region, which are based on hydrothermal properties, the content of nutrients and humus, etc., are considered. They determine the rate and intensity of microbiological activity of soils, the state of phytocenosis, ie, the process of soil functioning, defined as the totality of modern processes occurring in the soil, providing a living space for the organism.*

**Keywords:** *hydrothermal properties of soils, nutrients, humus, functioning of soils.*

## ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ГАЛОГЕНОВ В ПОЧВАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ С ПОЗИЦИЙ ЭКОЛОГИИ

Г.А. Конарбаева

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Россия, Новосибирск, konarbaeva@issa.nsc.ru

**Аннотация.** В статье дана экологическая оценка содержания галогенов (фтора, хлора, брома и йода) в почвах Западной Сибири. При оценке биогеохимического значения галогенов, как и других элементов, важным является знание не только их валового содержания, но и концентрации их водорастворимой формы, способной к миграции и участию в динамическом равновесии между твердой фазой почвы и почвенным раствором. В связи с этим оценивалась ситуация в почвах по валовому содержанию и водорастворимой форме галогенов.

**Ключевые слова:** Западная Сибирь, почвы, галогены (фтор, хлор, бром, йод), экология.

Взаимоотношения живых организмов и природной среды являются одной из актуальных проблем современной биологии. И в этом плане изучение химического состава почв и оценка их с экологических позиций имеет важное научное и практическое значение.

Важная биологическая роль галогенов (фтора, хлора, брома и йода) основана на необходимости их живым организмам. Фтор входит в состав костной ткани, зубной эмали, ногтей, хлор активизирует некоторые ферменты, поддерживает осмотическое равновесие в клетках живых организмов, в виде соляной кислоты играет роль в процессе пищеварения.

До недавнего времени роль брома была несколько неопределенной, поэтому его относили к условно эссенциальным элементам [1]. Но с 2014 года после опубликования работы американских исследователей его относят к группе жизненно необходимых элементов [2]. Их исследования показали, что без брома молекулы коллагена IV типа, играющие важную роль в сохранении целостности эпителиальных и эндотелиальных клеточных оболочек, не могут связываться друг с другом должным образом для образования структурного белка соединительной ткани, что может привести к нарушению её развития.

Йод играет важную биологическую роль в жизни живых организмов, которая проявляется в регулировании скорости обмена веществ в них. Этот процесс связан с гормонами щитовидной железы, тироксином и трийодтиронином, в состав которых входит йод, играющий особую роль, заключающуюся в том, что ни один элемент не может заменить его физиологической функции в них. Атомы йода в гормонах щитовидной железы участвуют в процессе переноса электронов благодаря переходам атомов из состояния  $I^+$  в  $I^-$  и обратно [3].

Галогены, как и другие макро- и микроэлементы, являются важнейшими участниками процесса формирования пищевой цепочки: атмосфера – почва – природные воды – растения – животные – человек. В связи с этим изучение содержания галогенов в почвах, как одного из начальных звеньев пищевой цепочки, должно быть детальным и разносторонним.

Неоднородная природная обстановка на территории Западной Сибири предполагает, что её влияние на галогены не может быть одинаковым, и действительно на данной территории обнаружены как весьма незначительные, так и очень существенные концентрации галогенов. В малогумусных и легких по гранулометрическому составу почвах элювиальных ландшафтов отмечено более низкое содержание изучаемых элементов в сравнении с почвами аккумулятивных ландшафтов. Заметное влияние на содержание галогенов в почвах оказывает засоленность значительной части поверхности Обь-Иртышского междуречья, которую принято рассматривать как огромный по площади природный геохимический регион. Гривный рельеф Барабинской низменности и северной части Кулундинской равнины создает благоприятные условия для перераспределения галогенов с повышенных структур в пониженные элементы ландшафта. Оптимальная глубина грунтовых вод, обеспечивающая соленакопление в почвах, отмечена в зоне приболотного пояса, другими словами, к застойной области верховодок, обладающих наибольшей засоленностью, так же как и почвы. Поэтому вполне

закономерно, что максимальная аккумуляция галогенов отмечена в почвах межгрядных понижений.

В отношении почв северных территорий, в которых детально изучались только фтор и йод, можно сказать следующее. Эти почвы (криоземы, глееземы, подбуры) характеризуются весьма низким содержанием гумуса – от 0,10 до 2,09% и только в слое 0–20 см криозема грубогумусового отмечено более высокое его содержание – 3,66 и 3,33%. Реакция почвенной среды преимущественно слабокислая и кислая. Содержание илистой фракции редко достигает 20%, наиболее часто оно варьирует в пределах 7–17%. Переувлажненность почв северных территорий, также не способствует аккумуляции галогенов.

Рассмотрим закономерности изменений содержания галогенов в основных типах почв Западной Сибири и оценим это с экологических позиций, опираясь при этом на следующие ориентировочные показатели: допустимый, критический и опасный уровни содержания галогенов в почвах [4–6].

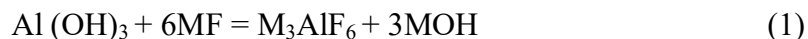
Согласно нашим результатам, валовое содержание фтора в зональных почвах находится в пределах ниже допустимого уровня – до 500 мг/кг. В дерново-подзолистых почвах – 200–250 мг/кг; в серых лесных – 230–290; в черноземах – 325–480; в каштановых 210–250 мг/кг. В интразональных почвах ситуация иная: в профиле солонцов содержание фтора изменяется от 300 до 550 мг/кг, при этом максимум отмечен в солонцовых горизонтах, которые обогащены илом и служат геохимическим барьером, препятствующим нисходящей миграции фтора. Поэтому ниже солонцового горизонта содержание фтора несколько снижается. В солончаках уровень концентрации валового фтора изменяется в диапазоне 800–1000 мг/кг, т.е. приближается к критическому значению – 1000 мг/кг. В засоленных почвах, приуроченных, как правило, к понижениям рельефа в течении длительного периода аккумулируются различные легкорастворимые соли, в том числе и соли фтора, например, NaF и KF. Обилие образующихся солей может вызвать явление соосаждения, а учитывая наличие солевого эффекта и его роль, можно предположить, что даже в случае поступления фтора в составе труднорастворимых соединений, возможно их частичное растворение вследствие увеличения ионной силы почвенного раствора.

Что касается северных территорий Западной Сибири, то содержание фтора в них незначительное, примерно на уровне дерново-подзолистых почв и несколько ниже (130–150 и 160–250 мг/кг).

В вернем гумусированном горизонте почв, независимо от их типа, активное накопление фтора отсутствует, что обусловлено его слабой сорбцией органическим веществом и ограниченностью между ними химического взаимодействия, что стоит отметить как положительный фактор. Более низкое содержание фтора в гумусированных слоях почвы свидетельствует об отсутствии его биогенного накопления в почвах, что подтверждается величиной (КБП), равного 0,097 [7].

Увеличение концентрации фтора вниз по профилю почвы происходит из-за поглощения его глинистыми минералами, оксидами и гидроксидами, прежде всего, алюминия и железа, обладающие значительной сорбционной способностью и склонностью к взаимодействию с фтором.

Получив гидроксиды алюминия и железа по стандартной методике, мы залили их раствором NaF с  $C = 10^{-3}$  моль/л в соотношении 1: 5 и выдержали 6 суток. Выяснилось, что за это время  $Fe(OH)_3$  поглощает до 58%, а  $Al(OH)_3$  – до 90% фтора, т.е. их роль в связывании фтора весьма значима. В этих процессах наиболее вероятны сорбция и реакции комплексообразования F с Al и Fe с образованием фторалюминатов и фторферратов, где M – одновалентный катион:



Более высокая насыщенность почвообразующих пород фтором связана и с минералогическим составом пород. Высокое содержание в них монтмориллонита и гидрослюд, а также биотита и бейделита благоприятствуют концентрированию в них фтора, так как гидроксиль-

ные группы, входящие в состав этих минералов способны обмениваться на  $F^-$  ввиду сходства их ионных радиусов (1,33 Å). По мнению [8] изоморфное замещение  $OH^-$  на  $F^-$  – важное условие стабильности слюдястых минералов диоктаэдрической структуры (иллит). Возможен также обмен  $O^{2-}$  на  $F^-$  по той же причине (их ионные радиусы соответственно равны 1,32–1,36 и 1,33–1,36 Å). Однако процесс ионного обмена в решетке не может происходить по максимуму из-за возможного изменения кристаллохимической структуры минерала и соответственно его видовой принадлежности, поэтому пределы колебания каждого элемента в минерале жестко ограничены.

Возможно и осаждение на геохимических барьерах, более всего на кальциевом геохимическом барьере, растворимость  $CaF_2$  – 2–8 мг  $F^-$ /л. Снижению его миграции по профилю почвы способствует образование плохо растворимых фторидов других щелочноземельных элементов и природных фторидов алюминия.

Так как ПДК на содержание валового фтора в почвах не разработано, то исследователи ориентируются на данные [5], согласно которым допустимый уровень 500 мг/кг, критический – 500–1000, недопустимый – более 1000 мг/кг.

Вместе с тем, хорошо известно, что важная роль с точки зрения экологии придается уровню концентрации подвижных форм химических элементов, в том числе и галогенов. В почвах можно считать вполне вероятной ситуацию, когда при допустимом валовом количестве фтора, содержание его подвижных форм и уровень его поступления в растения может оказаться токсичным.

Наиболее полезную информацию для этих целей предоставляет изучение водорастворимой формы галогенов, как самой мобильной. На территории Западной Сибири содержание водорастворимого фтора изменяется в широком интервале. Оно минимально в районах распространения автоморфных почв (0,8–7,5 мг/кг) при ПДК, равной 10 мг/кг. В интразональных почвах концентрация галогена растет от менее к более засоленным почвам и достигает в солонцах 1–10 мг/кг. К наиболее неблагоприятным среди почв подчиненных ландшафтов относятся солончаки, в которых концентрация водорастворимой формы фтора изменяется от 14 до 16 мг/кг, при критической концентрации 10–30 мг/кг. В почвах северных территорий концентрация водорастворимой формы – 2–8 мг/кг.

ПДК на водорастворимую форму фтора – 10 мг/кг [9]. Иногда используются и градации 1987 года, согласно которым, допустимое содержание – 0–10 мг/кг; критическое 10–30; недопустимое более 30 мг/кг [10].

По содержанию и характеру распределения в профиле почв Западной Сибири хлор заметно отличается от остальных галогенов, что обусловлено высокой растворимостью большинства его солей. Было ожидаемым, что зональные почвы будут беднее хлором по сравнению с интразональными. Что касается соотношения водорастворимой формы хлора к валовому содержанию, стоит отметить, что валовое содержание превышает концентрацию водорастворимой формы на 1–8%, при этом в верхних горизонтах только на 1–2%. Эффективных геохимических барьеров, на которых возможна аккумуляция хлора, для него не существует. Исключением являются аридные бессточные территории, где галоген аккумулируется на испарительном барьере. Валовое содержание хлора в различных типах почв следующее: в дерново-подзолистых – 25–91 мг/кг; в серых лесных – 40–55 при отсутствии строгой закономерности в его распределении; в черноземах – 19–40; в каштановых – 34–46; в солонцах – 150–20 мг/кг; в солончаках – 100–1100 мг/кг. Чуть ниже концентрация водорастворимой формы галогена.

ПДК для валового содержания хлора в почвах: в курском черноземе, принятом за эталон, – 70 мг/кг; в дерново-подзолистых – 170 мг/кг [11]. В общем виде ПДК на хлор по хлориду калия в почвах – 360 мг/кг [9]. Концентрация водорастворимой формы не должна превышать 350 мг/л в соответствии с ГН 2.1.5.689–98 [11].

Так что ситуация по содержанию фтора и хлора в почвах юга Западной Сибири, за исключением солончаков, с точки зрения экологии на данный момент особого беспокойства не вызывает, тем не менее было бы весьма желательно проводить мониторинг через определенное время, например, раз в три года.

Бром в сравнении с остальными галогенами остается наименее изученным и в настоящее время. Работы, касающиеся вопросов его накопления и миграции в окружающей среде, выполнялись рядом исследователей [12–16]. Вместе с тем более внимательного изучения требуют исследования по техногеохимии элемента ввиду его активного использования в сельском хозяйстве, медицине, химической и фармацевтической промышленности [17–19].

Бром может быть весьма токсичным элементом, оказывая негативное воздействие на физиологические функции живых организмов и участвуя в образовании и развитии некоторых видов заболеваний [1]. Галоген способствует развитию мочекаменной болезни [20], рака печени [21], анемии [22], дефициту йода из-за накопления брома в природной среде [23] в результате чего развиваются патологии щитовидной железы. Бром проявляет токсичность в отношении растений, так как способен замещать необходимый для них хлор и влиять на изменение проницаемости клеточных мембран [15].

Вместе с тем до сих пор не установлены гигиенические нормативы брома для почв, в которую поступает весьма распространенный пестицид – метилбромид –  $\text{CH}_3\text{Br}$ . Более того, в целом ряде исследований показано повышенное содержание элемента в компонентах природной среды вблизи таких производств, как нефтехимия, ядерная энергетика и вблизи аэропортов [24].

По своей реакционной способности бром занимает промежуточное положение между хлором и йодом, другими словами он более активен, чем йод, но менее чем хлор.

Среди различных компонентов почвы главную роль в аккумуляции элемента играет гумус. Далее, по нашему мнению, имеют значение реакция почвенной среды, гранулометрический состав, водный режим почв, присутствие полуторных оксидов и карбонатов. Такому порядку факторов различными исследователями придается неодинаковое значение. По мнению [12], после гумуса следующим является характер увлажнения почв, согласно [13], более значима роль сорбции, следовательно, химического и гранулометрического состава почв, по мнению [16] предпочтение следует отдать реакции почвенной среды.

В принципе мы считаем несущественным, в какой последовательности можно расположить данные факторы по степени их влияния на процессы аккумуляции и миграции элемента. Важным представляется только их интенсивность воздействия на эти процессы. Ведь они оказывают либо усиливающее, либо ослабляющее влияние на накопление и миграцию галогена в зависимости от того, какие факторы доминируют в каждой конкретной почве и какие в зависимости от этого проявляются химические свойства галогена.

Влияние гранулометрического состава на содержание брома проявляется в большей способности ила по сравнению с другими почвенными фракциями сорбировать и поглощать различные элементы, на что обратил внимание еще Виногадов [12]. Также установлено, что глины содержат брома больше, чем песчаники [13].

В связи с высокой растворимостью большинства солей брома, условия увлажнения почв существенно влияют на интенсивность его миграции. Вследствие этого в почвах промывного и периодически промывного водного режима миграция и вынос элемента будут усиливаться. В почвах с водным режимом непромывного или выпотного режима скорость данного процесса, естественно снижается, что создает благоприятные условия для аккумуляции анионов брома.

Основными источниками обогащения почв бромом являются вулканические газы и морская вода, в которой он накапливается, подобно хлору. По мнению [12], источником брома для почв может служить и растительный опад, продукты которого, накапливаясь и образуя подстилку, становятся концентраторами различных элементов, в том числе и галогенов, необходимых почвенным микроорганизмам, участвующим в сложных биохимических процессах преобразования органического вещества.

Содержание брома в почвах варьирует в следующих пределах: в дерново-подзолистых – 0–2,8 мг/кг; в серых лесных 1,2–3,6; в черноземах – 1,7–14, в каштановых – 1,3–3,3; в солонках – 1,8–33,3; в солончаках – 11,3–59,4; в луговых и болотных почвах – 1,3 до 42,1 мг/кг.

Содержание водорастворимой формы брома изменяется в диапазоне от следов до 3 мг/кг в зональных почвах, в интразональных от 2,3 до 31,2 мг/кг.

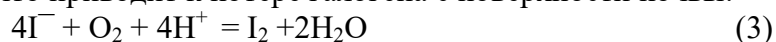


В связи с отсутствием ПДК на валовое содержание и водорастворимую форму невозможно дать экологическую оценку по этому элементу.

Основным источником поступления йода, как и брома, на континенты является океан, откуда галоген поступает в атмосферу, далее попадает в почву и растения. Значимость аэрогенного йода верна для территорий, приуроченных к морским побережьям или расположенных в непосредственной близости от них. Для внутриконтинентальных регионов, таких как юг Западной Сибири, йод атмосферы существенную роль в балансе галогена играть не может. По-видимому, круговорот элемента здесь осуществляется преимущественно за счет тех запасов, которые содержатся в почве и почвообразующей породе. Что касается северных территорий Западной Сибири, то следует отметить, что несмотря на близость к водным просторам, в почвах не обнаружено значительных концентраций галогена. Но причины здесь несколько иные, что ниже будет обсуждаться.

Физико-химические свойства почв, влияющие на аккумуляцию и миграцию йода, те же, что и в случае с бромом: гумус, рН, гранулометрический состав и водный режим.

Валовому содержанию йода в почвах Западной Сибири присуще некоторые закономерности, свидетельствующие о том, что физико-химические свойства элемента играют в этом определенную роль. Дерново-подзолистые почвы (0–2,4 мг/кг) обеднены йодом из-за низкого содержания гумуса, меньше 3%, и более фульватного его характера, промывного типа водного режима, благоприятствующего его интенсивной миграции из-за высокой растворимости большинства его солей. Более того, в условиях кислой среды происходит окисление йодид-анионов кислородом воздуха, что приводит к потере галогена с поверхности почвы:



Высокое содержание в почве окислителей, таких как катионы Fe и Mn, также приводят к снижению концентрации галогена из-за окисления йодид-анионов до элементарного йода и улетучивания его в атмосферу:



К дерново-подзолистым почвам по уровню содержания йода близки серые лесные почвы (0,3–4,7 мг/кг). Теоретически можно было предположить, что активизация развития дернового процесса в этих почвах должно способствовать накоплению йода. Но этого не происходит по ряду причин – высокой подвижности гуминовых кислот в условиях периодически промывного режима и кислой среды в верхних горизонтах почвы.

В черноземах наиболее ярко выражена аккумуляция йода в гумусовых горизонтах, что обусловлено повышенным содержанием гумуса, но и преобладанием в нем гуминовых кислот, фиксирующих до 88% йода, тогда как фульвокислоты – только 12% [25]. Мы полагаем, что повышенное содержание кислорода в фульвокислотах (до 45–50%) в сравнении с гуминовыми кислотами (до 32–38%) препятствует химическому взаимодействию этих кислот с йодом из-за возможного электростатического отталкивания между отрицательно заряженными анионами кислорода и йода.

На юге Западной Сибири довольно часто встречаются, особенно вокруг озер, стратоземы, в которых содержание гумуса от 0,17 до 0,40%, гранулометрический состав во всех слоях песчаный, содержание физической глины < 10%, ила – 4–6%. В этих почвах не стоило ожидать высоких концентраций йода, несмотря на щелочную реакцию почв (7,74–9,0). Содержание валового йода варьировало в пределах 0,12–1,5 мг/кг.

К почвам с достаточным количеством валового содержания йода относятся интразональные почвы (13,2–35,4 мг/кг). В почвах северных территорий: в криоземах от 0,3 до 0,8 мг/кг; в глееподзолистой – от следовых количеств до 1,1; в подбурях оподзоленных – от следов до 0,2; в глееземах от следов до 0,5 мг/кг.

Далее, что можно сказать об экологическом статусе йода. Если оценить валовое количество галогена в почвах по градации, предложенной Ковальским [4], согласно которой (5–40 мг/кг – нормальный уровень), то в автоморфных почвах оно заметно ниже 5 мг/кг, и только в черноземах находится на нижнем пределе нормального уровня.

В то же время, если оценивать содержание водорастворимой формы йода как наиболее важной для растительности, то следует иметь в виду, то оно может быть в дефиците при достаточном валовом содержании. Это может быть обусловлено высокой прочностью соединений, неподвижностью и неусвояемостью [26]. На юге Западной Сибири, где довольно низкое валовое содержание галогена в автоморфных почвах в комплексе с образованием прочной его связи с органическим веществом почвы, естественно ожидать весьма незначительные количества данной формы элемента. Оно варьирует в этих почвах от следов до 0,03 мг/кг, за исключением черноземов (0,03–0,09), в интразональных почвах – от 0,05–4,1 мг/кг. В стратоземах – 0,010–0,04 мг/кг. В почвах северных территорий содержание водорастворимого йода очень незначительное: от 0,002 до 0,026 мг/кг, особенно в криоземах от следов до 0,008 мг/кг.

Концентрации водорастворимой формы интерпретируют на основе критериев, предложенных Покатиловым [6], в соответствии с которыми содержание данной формы йода в почвах: 0,011–0,03 мг/кг – низкое, 0,03–0,05 – пониженное, 0,05–0,1 мг/кг – оптимальное. Используя эти градации, можно прийти следующему заключению: наблюдается явный недостаток водорастворимого йода в зональных почвах, за исключением черноземов, и почвах северных территорий, и только в интразональных его концентрация становится оптимальной, но они не имеют широкого сельскохозяйственного применения.

Оценивая эти цифры с позиций экологии, следует подчеркнуть, что почвы Западной Сибири обеднены йодом, что вызывает определенную тревогу, тем более, что растет число людей на данной территории с заболеванием щитовидной железы.

### Литература

1. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1991. 495 с.
2. McCall S., Cummings C., Bhave G., Vanacore R. et al. Bromine is an essential trace element for assembly of collagen IV scaffolds in tissue development and architecture // *Cell*. 2014. Vol. 157. P. 1380–1392.
3. Мохнач В.О. Теоретические основы биологического действия галоидных соединений. Л.: Наука, 1968. 297 с.
4. Ковальский В.В. Биологическая роль йода // *Научные труды ВАСХНИЛ*. М.: Колос, 1972. С. 3–32.
5. Гапонюк Э.И., Кузнецова М.В. Влияние фтористого натрия на свойства почвы и развитие некоторых сельскохозяйственных культур // *Гигиена и санитария*. 1984. № 6. С. 77–79.
6. Покатилов Ю.Г. Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы. Новосибирск, 1993. 165 с.
7. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983. 272 с.
8. Соколова Т.А. Глинистые минералы в почвах гумидных областей СССР. Новосибирск: Наука, 1985. 250 с.
9. Гигиенические нормативы ГН. 2.1.7. 2041 – 06.
10. Санитарные нормы допустимых концентраций токсичных веществ в почве. СанПиН 42-126-4433-87.
11. Шафринский Ю.С., Самохвалов С.Г., Беднаржевский С.С. и др. Государственные стандартные образцы состава почв. Новосибирск, 1998. 27 с.
12. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 234 с.
13. Розен Б.Я. Геохимия брома и йода. М.: Недра, 1970. 132 с.
14. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 438 с.
15. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высш. шк., 1979. 422 с.
16. Конарбаева Г.А. Галогены в природных объектах юга Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 2008. 33 с.
17. Ксензенко В.И., Стасиневич Д.С. Химия и технология брома, йода и их соединений. М.: Химия, 1995. 432 с.
18. Гринвуд Н.Н., Эршно А. Химия элементов. М.: Бином, 2008. Т.2. 670 с.
19. Yoffe D., Frim R., Ukeles S. et al. *Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry*. 2013. 31 p.

20. Sarmani S., Kuan L.L., Bakar A.A. // Biological Trace Element Research. 1990. Vol. 26–27. P. 497–502.
21. Litch O.A.B. Human health risk areas in the State of Parana, Brasil: results from low density geochemical mapping // TERRAE. 2005. Vol. 2. P. 9–19.
22. Ehmann W.D., Vance D.E. Studies of trace element involvement in human disease by in vitro activation analysis // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles. 1996. Vol. 203, № 2. P. 429–445.
23. Vobesky M., Babisky A., Lener J. Effect of increased bromide intake on iodine excretion in rats // Biological trace element research. 1996. Vol. 55. P. 215–219.
24. Zikovsky L An indirect study of air pollution by neutron activation analysis of snow // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 1986. Vol. 114, № 1. P. 147–153.
25. Дарер Р.С., Мазурова А.Л., Мун А.И. Некоторые данные о формах нахождения брома, йода и бора в озерных осадках и почвах //Известия АН Казах. ССР. Сер хим. 1966. № 4. С. 8–12.
26. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. С. 207–233.

## EVALUATION OF HALOGEN CONTENT IN SOILS OF WESTERN SIBERIA FROM THE POSITIONS OF ECOLOGY

G.A. Konarbaeva

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Russia, Novosibirsk, konarbaeva@issa.nsc.ru

**Abstract.** *The article gives an ecological assessment of the content of halogens (fluorine, chlorine, bromine and iodine) in soils of Western Siberia. When assessing the biogeochemical significance of halogens, as well as other elements, it is important to know not only their gross content, but also the concentration of their water-soluble form, capable of migration and participation in the dynamic equilibrium between the solid phase of the soil and the soil solution. In this regard, the ecological situation in soils was estimated by the gross content and water-soluble form of halogens.*

**Keywords:** *Western Siberia, soils, halogens (fluorine, chlorine, bromine, iodine), ecology.*

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТОРФОВ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: МАКРОЭЛЕМЕНТЫ И БИТУМИНОЗНЫЕ ВЕЩЕСТВА

Н.Г. Коронатова

Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия, coronat@mail.ru

**Аннотация.** В работе рассмотрен химический состав двух верховых (фускум-торфа и сфагнового мочажинного) и переходного (осоково-сфагнового) торфов Бакчарского болота, которое расположено в южной тайге Западной Сибири. Определены процентное содержание C, N, P, K, Na, Ca, Mg, Fe в расчёте на абсолютно сухую массу торфа. Установлены группы органических соединений в гексан-хлороформном экстракте фускум-торфа и сфагнового мочажинного торфа (циклические терпеноиды, n-алканы и изопреноидные алканы, кетоны, карбоновые кислоты, токоферолы, арены) и их концентрации.

**Ключевые слова:** верховой торф, переходный торф, макроэлементы, битум, групповой состав торфа, Бакчарское болото.

Актуальность изучения химического состава торфов определяется широчайшим распространением торфяников на территории Западно-Сибирской низменности, важной ролью болот в глобальном цикле углерода и макроэлементов, а также практической ценностью содержащихся в торфах низкомолекулярных органических соединений для медицины и сельского хозяйства.

Существенный вклад в изучение элементного состава торфов внесли сибирские исследователи [1-11]. Состав низкомолекулярных органических компонентов изучался главным образом в торфах южной и средней тайги Западной Сибири [12–18]. О.В. Серебренниковой с соавт. состав битуминозных компонентов изучается в связи с различными экологическим условиями формирования торфов [19–24].

Цель данной работы – изучить состав макроэлементов и битуминозных компонентов верховых и переходных торфов южной тайги Западной Сибири.

**Объекты и методы.** Образцы торфа были отобраны с глубины 40-60 см в сосново-кустарничково-сфагновом ряме и двух экосистемах травяно-сфагновой топи Бакчарского болотного комплекса (южная тайга, Томская область). Торф был представлен тремя видами: верховым фускум-торфом слабой степени разложения (5-10%), верховым сфагновым мочажинным торфом слабой степени разложения (10-15%) и переходным осоково-сфагновым торфом средней степени разложения (20-30%).

Содержание углерода определяли по методу Анстета в модификации В.В. Пономарёвой и Т.А. Николаевой [25]; азота – по Къельдалю; фосфора – на колориметре по фосфорномолибденовой сини [26]; калия, натрия, кальция, магния, железа – на атомно-абсорбционном спектрофотометре.

Групповой состав низкомолекулярных органических соединений определяли в двух видах сфагновых торфов. Битуминозные вещества извлекали смесью хлороформа с гексаном (1:4 по объёму). Анализ экстрактивных веществ торфов осуществляли методом газовой хромато-масс-спектрометрии на газовом хроматографе Clarus 500 MS фирмы Perkin Elmer (США) с квадрупольным детектором [16].

**Результаты и обсуждение.** Содержание углерода в трёх видах торфа было близко и составило 45-46%. Максимальной зольностью характеризовался переходный осоково-сфагновый торф (5,7%), а в образцах верхового торфа содержание золы было 2,5% (фускум-торф) и 1,5% (сфагновый мочажинный торф). Доля нерастворимой золы составила 50% от общей зольности в верховых торфах и 53% – в переходном.

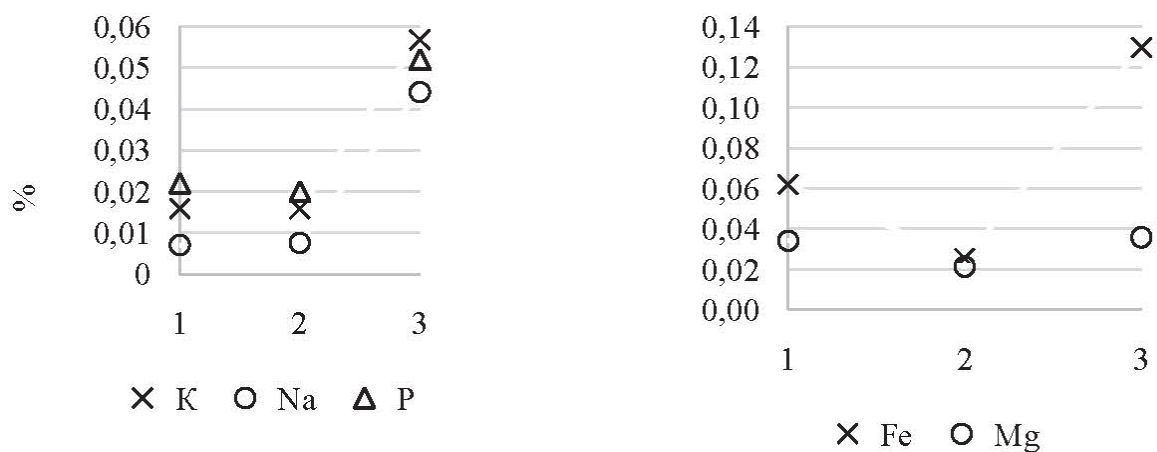


Рис. 1. Процентное содержание калия, натрия, фосфора, железа и магния в расчёте на абсолютно сухое вещество торфа: 1 – фускум-торф, 2 – сфагновый мочажинный торф, 3 – осоково-сфагновый торф

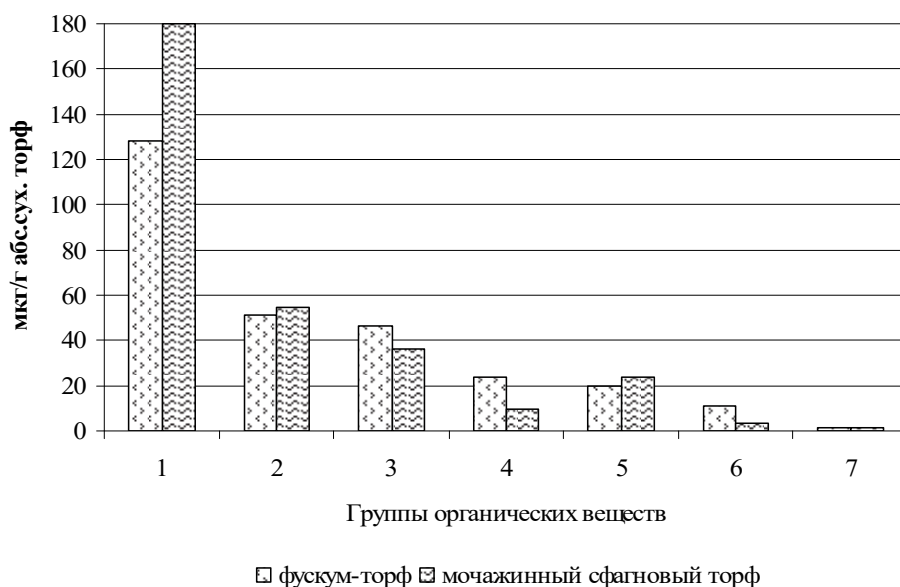


Рис. 2. Группы низкомолекулярных органических веществ в двух видах верхового торфа: 1 – циклические терпеноиды, 2 – n-алканы, 3 – неидентифицированные вещества, 4 – кетоны, 5 – карбоновые кислоты, 6 – токоферолы, 7 – изопреноидные алканы

Среди биогенных элементов наибольшим содержанием отличались азот (0,4% в верховых торфах и 0,7% – в переходном) и кальций (0,1% в сфагновом мочажинном, 0,2% – в фускум-торфе и 0,4% – в осоково-сфагновом торфе).

В осоково-сфагновом торфе наблюдалось двух- трёхкратное превышение содержания фосфора, калия, натрия и железа по сравнению с верховыми торфами (рис. 1). Содержание магния характеризовалось тем, что наибольшее значение получено для фускум-торфа (более 0,04%), несколько меньшее – для осоково-сфагнового торфа (около 0,04%) и самое низкое – для сфагнового мочажинного торфа (0,02%).

Переходный торф отличался большей зольностью и более высоким содержанием азота, фосфора и металлов, что является следствием присутствия в составе торфа остатков осок. Среди верховых торфов самым бедным по содержанию макроэлементов был сфагновый мочажинный торф.

Масса сухих экстрактов гексан-хлороформной вытяжки составила 0,46 % и 0,55 % от абсолютно сухого вещества, а концентрация экстрактов – 281 и 309 мкг/г абс. сух. массы фускум-торфа и сфагнового мочажинного торфа, соответственно.

Преобладающей группой среди экстрактивных веществ были циклические терпеноиды с содержанием 46% от массы экстракта в фускум-торфе и 58% – в сфагновом мочажинном торфе (рис. 2). На долю алканов нормального строения пришлось 18% в обоих торфах. Содержание алканов изопрениодного строения было незначительным – чуть более 0,5% от массы экстракта торфов. В фускум-торфе содержание кетонов было в 2,4 раза выше, а токоферолов – в 3,4 раза выше по сравнению со сфагновым мочажинным торфом. Повышенное содержание этих двух групп органических соединений в фускум-торфе ряма обусловлено присутствием сосны в болотной экосистеме. Содержание карбонов кислот было близко в обоих видах торфа, составив 7–8%. Содержание бициклических и трициклических аренов в торфах мало различалось: по 0,1 мкг/г абс.сух торфа. Доля оставшихся не идентифицированными веществ была высока – 12 и 16% в сфагновом мочажинном и фускум-торфе, соответственно.

**Заключение.** Известно, что химический состав торф наследует от растений-торфообразователей. Ткани травянистых растений богаче азотом и зольными элементами, что отразилось на элементном составе осоково-сфагнового торфа в сравнении с двумя верховыми торфами, в которых не содержались остатки осок.

Сфагновый мочажинный и фускум-торф различались по содержанию циклических терпеноидов, что связано, скорее всего, также с различиями в составе фитоценозов болотных экосистем. В фускум-торфе содержание кетонов и токоферолов было выше, чем в сфагновом мочажинном торфе, что обусловлено присутствием сосны в фитоценозе ряма [22].

### Литература

1. Бахнов В.К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: Наука, 1986. 194 с.
2. Бахнов В.К. Почвообразование: взгляд в прошлое и настоящее (биосферные аспекты). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 117 с.
3. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Куценогий К.П., Онучин А.А., Переседов В.Ф. Биогеохимия Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Ti, V, Mo, Ta, W, U в низинном торфянике на междуречье Оби и Томи // Почвоведение. 2003. № 5. С. 557–567.
4. Ефремова Т.Т., Секретенко О.П., Аврова А.Ф., Ефремов С.П. Геостатический анализ пространственной изменчивости запасов зольных веществ в подстилке болотных березняков Западной Сибири // Почвоведение. 2013. № 1. С. 56–66.
5. Коронатова Н.Г. Содержание химических элементов в верховых торфах Бакчарского болота и его изменение в ходе деструкции // Отражение био-гео-антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. Т.2: Сб. матер. IV Всероссийской научн. конф. с междунар. участием, 1-5 сентября 2010 г., Томск / под ред. С.П. Кулижского, Е.В. Каллас, С.В. Лойко Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. С. 102–105.
6. Коронатова Н.Г. Изменение содержания углерода и азота в торфе в ходе проведения эксперимента по его деструкции // Матер. Междунар. науч. конф. «Ресурсный потенциал почв основа продовольственной и экологической безопасности России» / под ред. Б.Ф. Апарина. СПб.: Издат.дом СПбГУ, 2011. С. 413–414.
7. Коронатова Н.Г., Савенков О.А. Изменение макроэлементного состава торфов в ходе деструкции // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы III Междунар. полевого симп., Ханты-Мансийск, 27 июня 5 июля 2011 г. / под ред. акад. С.Э. Вомперского. Новосибирск, 2011. С. 114–116.
8. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири / под ред. И.М. Гаджиева. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 277 с.
9. Степанова В.А., Коронатова Н.Г. Микроэлементный состав торфов Бакчарского болота // Болота и биосфера: Матер. VII Всероссийской с междунар. уч. научн. школы, 13–15 сентября 2010, Томск / Под ред. Л.И. Инишевой. Томск: Изд-во ТГПУ, 2010. С. 105–108.
10. Степанова В.А., Покровский О.С. Макроэлементный состав торфа выпуклых верховых болот средней тайги Западной Сибири (на примере болотного комплекса «Мухрино») // Вестник Томского государственного университета. 2011. Т. 352. С. 211–214.
11. Stepanova V.A., Pokrovsky O.S., Viers J., Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P., Vishnyakova E.K. Elemental composition of peat profiles in Western Siberia: effect of the micro-landscape, latitude position and permafrost coverage // Applied Geochemistry. 2015. V. 53. P. 53–70.

12. Архипов В.С., Маслов С.Г. Состав и свойства типичных видов торфа центральной части Западной Сибири // Химия растительного сырья. 1998. № 4. С. 9–16.
13. Жеребцов С.И., Мусин Ю.В., Моисеев А.И. Состав битумов алкилированного торфа // Химия твердого топлива. 2009. № 3. С. 16–18.
14. Жеребцов С.И., Мусин Ю.В., Моисеев А.И. Влияние алкилирования на состав и выход битумоидов торфа // Химия растительного сырья. 2009. № 2. С. 125–130.
15. Шинкеева Н.А., Маслов С.Г., Архипов В.С. Характеристика группового состава органического вещества отдельных репрезентативных торфов таежной зоны Западной Сибири // Вестник ТГПУ. 2009. Вып. 3 (81). С. 116–119.
16. Коржов Ю.В., Коронатова Н.Г. Состав гексан-хлороформного экстракта верховых торфов южной тайги Западной Сибири // Химия растительного сырья. 2013. № 3. С. 213–220.
17. Коронатова Н.Г. Основные группы органических соединений битумов верховых торфов и изменение их содержания в результате деструкции торфа // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири: Матер-лы III Междунар. научно-практич. конф. (27 сент. – 3 окт. 2015 г., Томск). Екатеринбург: ООО Универсальная типография «Альфа Принт», 2015. С. 136–139.
18. Коронатова Н.Г. Изменение содержания групп органических соединений в результате деструкции верховых торфов // Почва и окружающая среда. 2018. Т.1, № 1. С. 6–16.
19. Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Дучко М.А., Аверина Н.Г., Козел Н.В. Сравнительный анализ химического состава битуминозных компонентов низинных торфов двух болотных экосистем // Фундаментальные исследования. 2014. № 12-1. С. 112–117.
20. Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Прейс Ю.И. Особенности состава липидов верховых и низинных торфов юга Томской области // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 322, № 3. С. 77–82.
21. Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Прейс Ю.И., Аверина Н.Г., Козел Н.В., Бамбалов Н.Н., Ракович В.А. Состав экстрактивных веществ торфов осушенных и ненарушенных верховых болот Беларуси и Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Химия и химические технологии. 2014. Т. 325, № 3. С. 31–45.
22. Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Прейс Ю.И., Дучко М.А. Влияние источника и условий торфонакопления на индивидуальный состав битуминозных компонентов торфа на примере двух низинных болот Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Химия и химические технологии. 2014. Т. 325. С. 80–91.
23. Serebrennikova O.V., Preis Yu.I., Kadychagov P.B., Gulaya E.V. Hydrocarbon composition of the organic matter of peats in the south of Western Siberia // Solid Fuel Chemistry. 2010. Vol. 44, № 5. P. 40–50.
24. Серебренникова О.В., Дучко М.А., Коронатова Н.Г., Стрельникова Е.Б. Содержание и состав липидов сфагнового торфа в зависимости от температуры природно-климатических зон Западной Сибири // Химия твердого топлива. 2018. № 1. С. 38–45.
25. Пономарева В.В., Николаева Т.А. Методы изучения органического вещества в торфяно-болотных почвах // Почвоведение. 1961. № 5. С. 88–94.
26. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970, 488 с.

## PEAT CHEMICAL COMPOSITION IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA: MACROELEMENTS AND BITUMINOUS SUBSTANCES

N.G. Koronatova

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, coronat@mail.ru

**Summary.** *The chemical composition of the two ombrotrophic peats (fuscum-peat and Sphagnum-hollow peat) and a mesotrophic peat (sedge-Sphagnum peat) of the Bakchar bog, which is located in the southern taiga of Western Siberia, is considered. The percentage of C, N, P, K, Na, Ca, Mg, Fe in the absolutely dry peat mass was determined. The concentrations of groups of organic compounds in hexane-chloroform extract of fuscum-peat and Sphagnum-hollow peat are established. The main groups are as the following: cyclic terpenoids, alkanes and isoprenoid alkanes, ketones, carboxylic acids, tocopherols, arenes.*

**Key words:** *ombrotrophic peat, mesotrophic peat, macroelements, bitumen, group composition of peat, Bakchar mire.*

## СТРУКТУРА ЗАПАСОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА И ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ ПЛОСКОБУГРИСТЫХ ТОРФЯНИКОВ

Н.П. Косых<sup>1</sup>, Н.П. Миронычева-Токарева<sup>1</sup>, Е.В. Михайлова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, nina@issa.nsc.ru

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск

**Аннотация.** *Получены новые количественные характеристики процессов трансформации органического вещества в болотных комплексах криолитозоны Западной Сибири. Запасы растительного вещества в верхнем тридцатисантиметровом слое плоскобугристых болот колеблются в пределах от 130 до 200 т/га. Данная закономерность обусловлена запасами мортмассы, которая составляет 70% от общего запаса растительного вещества. Запасы живой фитомассы существенно зависят от мезо- и микрорельефа болотной экосистемы.*

**Ключевые слова:** *запасы растительного вещества, фракционный состав фитомассы, плоскобугристые болота.*

В настоящее время оценены запасы фитомассы и ее ежегодное воспроизводство в наземных природных экосистемах, слагающих растительный покров административных регионов Западной Сибири. Несмотря на единство обменных процессов структура круговорота, включающая в себя определенные запасы веществ во всех компонентах и определенные интенсивности обменных процессов, связывающих компоненты, различна в разных типах экосистем [1]. Установлено, что на границе перехода от тундровых экосистем к болотным – количественные характеристики запасов фракций живой фитомассы определяются видовым составом растительного сообщества, который зависит от положения в мезо- и микрорельефе переходного ландшафта.

Для моделирования процессов функционирования заболоченных ландшафтов Западной Сибири при разных климатических сценариях на границах экотонов степь-болото и тундра требуется продолжение работ по определению составляющих биотического круговорота.

**Объекты и методы исследования.** Исследуемая территория находится в подзоне северной тайги таежной зоны Западной Сибири, в Надым-Пуровской провинции, на водоразделе между реками Обского бассейна, стекающих на юг, и реками бассейна Надыма, Пура и Таза, стекающих на север. Рельеф полого-гривисто-увалистый [2]. Около 50% территории заболочено. Центральные части болотных массивов заняты полого-бугристыми грядово-мочажинно-озерковыми болотными комплексами на мерзлых торфяниках. Среди них, на склоновых участках вдоль мелких болотных речек развиты крупнобугристые болота. По периферии болотных массивов распространены грядово-мочажинные болотные комплексы. Все болота олиготрофны. Благодаря высокой заболоченности и небольшой локальной амплитуде высот рельефа, грунтовые воды держатся в пределах верхних 5–10 метров, а на периферии плоских повышений – около 2–3 метров. Задержка вод торфяниками поддерживает уровень грунтовых вод на достаточно высоком уровне. Микрорельеф болот определен мерзлотными процессами. Бугры местами достигают 4–6 м, но в основном их высота не превышает 1–2 м.

Климат территории резко континентальный, суровый. Средняя годовая температура воздуха –5°C. Годовое количество осадков составляет 580 мм, основное из которых приходится на теплое время года (с апреля по октябрь). Зима холодная, температура воздуха колеблется от –20 до –26°C. Лето сравнительно теплое, однако средняя температура воздуха в июне может колебаться от 4 до 20°C. Первая половина лета сухая, вторая избыточно влажная. Осень холодная, в сентябре температура воздуха переменчива в течение суток (от –5 до 10°C). В октябре температура воздуха становится отрицательной.

Определение запасов и структуры растительного вещества проводилось на двух ключевых участках располагающихся на плоской междуречной равнине, занятой плоскобугристым мерзлым торфяником с комплексом хасыреев-мочажин и озерков (табл. 1).



## Координаты экосистем на ключевом участке «Ханымей» (северная тайга)

Экосистема		Координаты	
Плоский бугор	Кустарничково-лишайниковое сообщество	N 63,42168°	E 75,53274°
Мочажина	Кустарничково-осоково-сфагновое сообщество	N 63,46503°	E 75,38261°

Поверхность плоских бугров волнистая, с большим количеством микропонижений. Высота кочек от 10 до 15 см. Глубина талого слоя на буграх в летнее время залегает на глубине 50 см ниже поверхности лишайников. Растительность представлена на буграх кустарничково-лишайниковым сообществом, в мочажинах – осоково- и пушицево-сфагновыми сообществами.

Кустарничковый ярус расположен в основном на микроповышениях плоских бугров и редко поднимается выше 15 см от лишайникового покрова. Доминантом яруса является *Ledum palustre* (проективное покрытие около 40%), содоминанты – *Betula nana* и *Vaccinium vitis-idaea*, занимающих по 10% п/п. Общее проективное покрытие кустарничков составляет 60%. Помимо указанных видов в ярусе также принимают участие *Andromeda polifolia* и *Empetrum nigrum*. Травяной ярус образован *Rubus chamaemorus*, которая дает 5% проективного покрытия. В мохово-лишайниковом покрове лишайники занимают господствующее положение и по видовому составу, и по величине проективного покрытия, на них приходится 95%. Доминантами здесь являются *Cladonia stellaris* и *C. stygia*. Встречаются также виды: *Cetraria nivalis*, *C. cuculata*, *C. islandica*, *Cladonia rangiferina*, *C. amaurocrea*, *Allectoria ohroleuca*. На сфагновые мхи приходится только 5% проективного покрытия бугров, встречается *Sphagnum fuscum* и *S. capillifolium*.

Растительные сообщества мочажины сменяют друг друга в зависимости от уровня обводненности. Пушицево-сфагновое сообщество занимает местообитания с наиболее низким уровнем болотных вод (около 15 см). Обычно такие сообщества окаймляют края больших мочажин или занимают микропонижения между буграми. Травяной ярус представлен в основном *Eriophorum russeolum* с проективным покрытием до 10%, присутствует *Carex rotundata*, часто рядом с пушицей растет кустарничек *Andromeda polifolia*. В моховом покрове доминирует *Sphagnum balticum*. При продвижении в сторону центра округлой мочажины наблюдается повышение уровня болотных вод, что вызывает исчезновение кустарничков, повышение проективного покрытия *Carex rotundata* в травяном ярусе, которая из субдоминантов переходит в доминанты (5–7% проективного покрытия). В моховом покрове так же происходит смена доминантов – преобладающими видами становятся *Sphagnum lindbergii* и *Warnstorfia fluitans*. Осоково-сфагновые сообщества могут полностью занимать центральные части мочажин или же только окаймлять полосой открытую водную поверхность, находящуюся в самом центре мочажины.

Определение запасов и фракций растительного вещества в экосистемах проводилось по стандартным с небольшими модификациями методикам [1]. Во всех экосистемах была изучена структура растительного вещества с обязательным выделением живых и мертвых подземных органов. Для этого закладывалась серия из десяти малых квадратов (50x50 см) случайным образом. На всех десяти квадратах надземная фитомасса срезалась на уровне головок мха и с них собирались отмершие листья трав и кустарничков. Ветошь отделялась от зеленой фитомассы, последняя разбиралась по видам. Вся надземная и подземная фитомасса высушивалась при температуре 60°C и взвешивалась. Для определения запасов мохового яруса, общей подземной растительной массы и подземной массы отдельных видов растений в центре выстриженных квадратов отбирались монолиты 10x10x10 см до глубины 30 см в восьмикратной повторности.

**Обсуждение результатов.** Структура запасов мхов, кустарничков и трав относится как 7:3:2 на буграх и 5:1:1 – в мочажинах. Запас подземных органов трав и кустарничков составляет 60–70% от общего запаса фитомассы и создается, в основном подземными органами кустарничков и трав.

Максимальное количество мертвого растительного вещества (мортмассы) накапливается в межкочечных пространствах плоскобугристого болота и составляет в среднем 210 т/га, уменьшаясь на кочках бугров до 140 т/га, в мочажинах его количество колеблется в пределах от 90 до 160 т/га. В контрастных, но стабильных системах – верхушки бугров и мочажины, наблюдаются меньшие колебания в запасах, чем в межкочьях, куда не проникает холодный ветер и где образуются микроклиматические оазисы, вызывающие точечное глубокое протаивание мерзлоты.

Живое растительное вещество или фитомасса исследуемых экосистем является наиболее важной фракцией, так как определяет количество фиксируемого углерода. Минимальные запасы формируются в экосистемах олиготрофных осоково-сфагновых мочажин и составляют 8 т/га. На мерзлых буграх запасы фитомассы достигают максимальной величины на вершинах – 24 т/га за счет лишайников, запасы которого в 2 раза больше, чем в межкочьях. Вечнозеленые кустарнички, занимающие верхние части кочек, создают внутри куста ветровую тень, которая благоприятствует росту лишайников.

Большая часть подземной живой массы (от 60 до 80%) на повышенных элементах рельефа формируется крупными и мелкими корнями кустарничков и их погребенными стволиками. Запасы фотосинтезирующих частей мхов и лишайников достигают значительной величины и колеблются в пределах от 3,8 до 4,0 т/га, что составляет около 25% от общих запасов фитомассы. В мочажинах структура фитомассы меняется. Лидирующие позиции занимают сфагновые мхи наравне с подземными органами сосудистых растений.

Чистая первичная продукция экосистем плоскобугристого болота колеблется в пределах от 3,0 до 4,5 т/га в год в зависимости от видового состава растительного сообщества и в среднем составила 4,0 т/га в год при среднем запасе фитомассы – 14,8 т/га, в хасыряях – 8,5 т/га в год, при запасах фитомассы – 18,0 т/га. На плоских буграх отношение надземной продукции кустарничков и трав к подземной, где доминируют корни кустарничков 1:4, в мочажинах 1:6 – за счет корней осок и пушиц. Наибольший вклад в продукцию вносят подземные органы. Вклад корней трав составляет в олиготрофных мочажинах 1,0 т/га в год, в хасыряях – 6,2 т/га в год, на буграх – 0,8–0,9 т/га в год. Вклад корней кустарничков на буграх варьирует от 0,7 до 2,0 т/га в год, в олиготрофных мочажинах – 0,06 т/га в год. Вклад мхов и лишайников в продукцию экосистем колеблется в пределах 1,0–2,0 т/га в год. Минимальный вклад в общую продукцию на повышенных и пониженных элементах рельефа вносят фотосинтезирующие части трав и кустарничков (0,2–1,0 т/га в год).

**Заключение.** Анализ материала показывает, что доминирующая роль мхов в продукции экосистемы сохраняется только в олиготрофных мочажинах, на буграх преобладают лишайники, видовое разнообразие которых превосходит остальные группы растений. Максимальный вклад подземной продукции наблюдается в мезотрофных мочажинах и составляет 70% от общей продукции и создается, в основном, подземными органами крупных осок и пушиц. Общая первичная продукция на буграх составляет 4,1 т/га в год, что в два раза ниже, чем на грядах болотных комплексов средней тайги.

*Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 16-06-00797 НЦНИЛ\_a и № 16-55-16007 НЦНИЛ\_a.*

## Литература

1. Kosykh N.P., Koronatova N.G., Naumova N.B., Titlyanova A.A. Above- and below-ground phytomass and net primary production in boreal mire ecosystems of Western Siberia // *Wetlands ecology and management*. 2008. V. 16 (2). P. 139–153.
2. Западная Сибирь. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 488 с.

## STRUCTURE OF PLANT MATTER AND NET PRIMARY PRODUCTION OF FLAT PALSIA MIRE

N.P. Kosykh<sup>1</sup>, N.P. Mironycheva-Tokareva<sup>1</sup>, E.V. Mikhailova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of soil science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, nina@issa.nsc.ru

<sup>2</sup> Siberian state University of geosystems and technologies, Novosibirsk

**Summary.** *New quantitative characteristics of organic matter transformation processes in mire complexes of the cryolithozone of Western Siberia are obtained. Plant matter stock in the upper thirty-centimeter layer of flat palsa mire ranges from 130 to 200 tons / ha. This regularity is due to mortmass stock, which is 70% of the total plant matter. The living phytomass stock is substantially depended on the meso- and microrelief of the mire ecosystem.*

**Keywords:** *plant matter stock, standing crop of phytomass, flat palsa mire.*

## ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПОЙМЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ И АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ В ДОЛИНЕ РЕКИ БЕЛОЙ (ПРИБАЙКАЛЬЕ) ПРИ ПАСТБИЩНОЙ НАГРУЗКЕ

С.Л. Куклина

Иркутский государственный университет, Иркутск, kukl\_swet@mail.ru

**Аннотация.** Приведены результаты исследований по изучению изменений свойств пойменных фитоценозов и почв в долине реки Белая на пастбищах. При неконтролируемом выпасе скота отмечается существенное обеднение фитоценозов, увеличение доли видов растений, устойчивых к переуплотнению почв и многократному стравливанию. Почвы испытывают значительное уплотнение, изменение структурного состояния, водопрочности агрегатов, в большинстве случаев, уменьшаются запасы влаги в почве.

**Ключевые слова:** аллювиальные почвы, пойменные фитоценозы, свойства почв, пастбищная нагрузка, вытаптывание, стравливание, Прибайкалье.

Река Белая является крупным левым притоком реки Ангары, и хорошо освоена человеком. Наличие большого количества населенных пунктов в долине реки приводит к тому, что пойменные луговые фитоценозы и почвы испытывают постоянную антропогенную нагрузку. В настоящее время большая часть пойменных земель в долине реки Белой используется под пастбища. Выпас скота, особенно в непосредственной близости к населенным пунктам, часто носит бессистемный и нерегулируемый характер. Превышается пастбищная нагрузка, не соблюдаются сроки выпаса скота.

Целью исследования явилась оценка влияния пастбищ на свойства пойменных луговых фитоценозов и аллювиальных почв в долине реки Белой.

Для оценки изменений свойств почв и фитоценозов при пастбищных нагрузках было изучено 6 участков на разноуровневых (низкая, средняя, высокая) поймах, в пределах которых выделялись площадки с максимальным и минимальным влиянием антропогенного фактора. На протяжении 3 лет с каждой площадки отбирались образцы почв, надземная и корневая фитомасса, изучался растительный покров.

На низкой пойме выбранных участков формируются аллювиальные серогумусовые глеевые (Ал<sub>дг</sub>) почвы, на средней пойме – аллювиальные серогумусовые (Ал<sub>д</sub>), на высокой пойме – аллювиальные серогумусовые (Ал<sub>д</sub>) и темногумусовые (ААл<sub>т</sub>) почвы.

В ходе исследований выявлено, что использование пойм реки Белая под пастбища оказывает на луговые биогеоценозы негативное воздействие, что проявляется в вытаптывании, стравливании, обеднении видового состава.

Вытаптывание проявляется в повреждении поверхности почвы и надземных органов растений копытными животными. Копытами скота повреждаются листья и почки возобновления растений, расположенные на поверхности или у поверхности почвы. На пастбищах с активным выпасом скота часто могут произрастать лишь растения, способные противостоять воздействию копыт животных. На поймах реки Белой, к таким видам можно отнести: пырей ползучий (*Elytrigia repens*), подорожники (*Plantago major*, *P. depressa*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), клевер ползучий (*Trifolium repens*), лапчатку гусиную (*Potentilla anserina*) и др.

Разные виды трав неодинаково реагируют на частые дефолиации, что приводит изменению флористического состава и количественного соотношения видов в фитоценозе. Выпас скота вблизи населенных пунктов происходит весь вегетационный период, что приводит к многократному стравливанию травы. В итоге, вблизи большинства населенных пунктов, на пастбищах с вольным выпасом скота преобладают виды, непоедаемые и плохо поедаемые скотом, которые имеют возможность постоянно обсеменяться (*Artemisia intergifolia*,

*Artemisia sp.*, *Carex pediformis*, *Carex vesicaria*, *Potentilla anserina* и др.) [1] или обладающие высокой отавностью, т.е. устойчивые к многократному стравливанью (*Trifolium repens*, *Trifolium pratense* и др.). На пастбищах обсеменяются, в определенных пределах, и хорошо поедаемые растения. Это может, например, происходить у некоторых злаков, если их генеративные побеги не были съедены в фазе «трубки», то позднее, став жесткими, они скотом почти не стравливаются [2]. С этим, вероятно, связана большая доля пырея ползучего (*Elytrigia repens*) в пастбищных фитоценозах практически на всех изученных участках. Устойчивы к стравливанью виды растений с генеративными органами, расположенными у поверхности почвы, ниже обычной высоты стравливания (например, мятлики). Эти злаки так же часто встречаются на пастбищах в пойме реки Белой.

При стравливаньи уменьшается количество наземной фитомассы [3], которая осенью попадает в почву в виде растительных остатков (рис. 1). На участках высокой поймы, в непосредственной близости к поселкам Холмушино (Хм-3) и Мишелевка (Миш-2), отмечается значительное сокращение фитомассы наземной части растений, что связано с интенсивным выпасом скота. Масса корней в верхнем 20 см слое почвы во всех случаях превышает наземную фитомассу, этим, вероятно, объясняется отсутствие значительного уменьшения гумусированности почв под пастбищами.

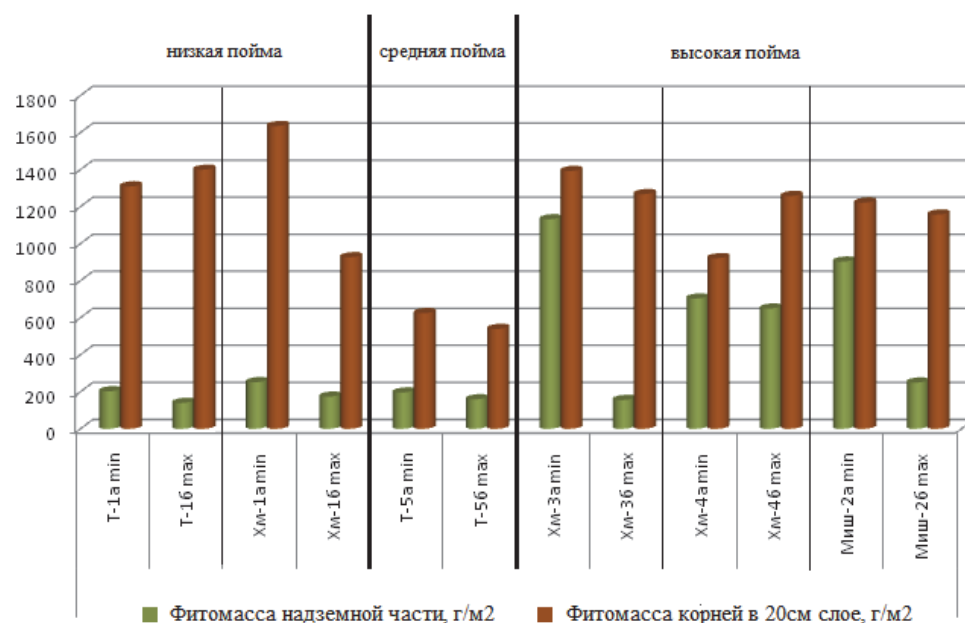


Рис. 1. Количество фитомассы наземной части и корней растений (в г/м<sup>2</sup>) на участках пойм, занятых пастбищами (сентябрь-октябрь)

Фитомасса наземных частей растений на высоких поймах выше, чем на средних и низких, что обусловлено более благоприятным водно-воздушным режимом почв и их большей гумусированностью (см. рис. 1). Самые высокие значения фитомассы корней в верхнем 20 см слое почвы, при минимальной наземной фитомассе на низких поймах, объясняются неблагоприятными воздушным и водным режимами, когда из-за высокого поднятия капиллярной каймы грунтовых вод практически вся корневая масса находится близко к поверхности.

Отмечено, что изменение зольности растений происходит на участках, где идет заметная смена видового состава растений. Высокие значения зольности (от 10 до 12% на площадках с максимальным выпасом скота) можно объяснить наличием большой доли высокозольных видов (*Plantago major*, *Plantago depressa*, *Achillea millefolium*, *Achillea asiatica*, *Taraxacum officinale*) в фитоценозах.

Под влиянием выпаса существенно изменяются физические свойства почв. Характер и динамика изменений зависит не только от интенсивности и продолжительности выпаса скота, но и от гранулометрического состава, влажности почв, наличия дернины и др. Выпас

ранней весной и осенью, на переувлажненных почвах средних и высоких пойм или на постоянно влажных низких поймах реки Белой, ведет к серьезным негативным изменениям: деформации поверхности пойм (закочкарности), уплотнению верхних почвенных горизонтов, ухудшению структуры почв и др.

Результаты проведенных исследований (табл. 1) показали увеличение плотности почвы при многолетнем бессистемном выпасе скота: на супесчаных почвах – с 1,20 до 1,29 г/см<sup>3</sup>; на почвах легкосуглинистого состава – с 0,93–1,28 до 0,96–1,39 г/см<sup>3</sup>.

Т а б л и ц а 1

**Изменение физических свойств в поверхностном слое (10 см) пойменных почв р. Белая, в условиях максимальной и минимальной пастбищной нагрузки**

Пойма	Тип почвы (индекс)	№ площад-ки	Степень пастбищной нагрузки	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Влажность, %	Запасы влаги в 10 см слое, т/га	Гран. состав
низкая	Ал <sub>др</sub>	Т-1а	min	1,11	32,1	356,3	ЛС
		Т-1б	max	1,23	62,9	773,7	ЛС
низкая	Ал <sub>др</sub>	Хм-1а	min	1,00	25,47	254,7	СП
		Хм-1б	max	1,05	25,75	270,4	СП
средняя	Ал <sub>дг</sub>	Т-5а	min	1,20	9,30	111,6	СП
		Т-5б	max	1,24	8,96	111,1	СП
высокая	Ал <sub>д</sub>	Хм-3а	min	0,93	14,55	135,3	ЛС
		Хм-3б	max	0,96	14,09	135,2	ЛС
высокая	ААл <sub>т</sub>	Миш-2а	min	1,28	10,70	137,0	ЛС
		Миш-2б	max	1,39	9,36	130,1	ЛС
высокая	Ал <sub>д</sub>	Хм-4а	min	1,10	15,52	170,7	ЛС
		Хм-4б	max	1,16	14,19	164,6	ЛС

Уплотнение почвы в местах сильного вытаптывания поверхности, при подходе к руслу реки Белой вблизи пос. Тайгурка, привело к увеличению капиллярной пористости, поднятию капиллярной каймы и переувлажнению поверхности низкой поймы. На участке с максимальной пастбищной нагрузкой (площадка Т-1) влажность верхнего слоя почвы составила 62,9%, что почти в 2 раза выше фонового (32,1%).

Интенсивный выпас скота влияет на структурный состав аллювиальных почв. За счет уплотнения поверхности почв в структуре верхних горизонтов почв увеличивается доля глыбистых агрегатов. В качестве примера рассмотрены изменения структуры на двух участках высокой поймы (рис. 2).

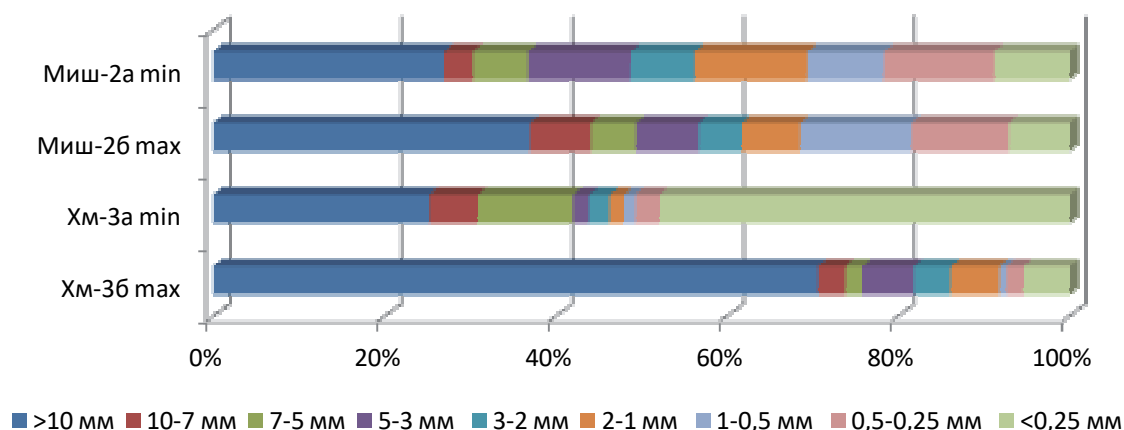


Рис. 2. Изменение структуры в почвах высокой поймы р. Белая при пастбищной нагрузке

В обоих случаях отмечается увеличение массы агрегатов, размером больше 10 мм при интенсивном выпасе скота. Например, на площадке Хм-3 наблюдается максимальное увеличение доли глыбистых агрегатов с 23,51% (при минимальном воздействии) до 70,65% (при

максимальном воздействии). Такое укрупнение структуры объясняется частым выпасом скота по переувлажненной поверхности почвы. При пастьбе скота по подсохшей поверхности почвы, как в случае на площадке Миш-2, увеличение доли глыбистых агрегатов незначительно (рис.2).

Содержание агрономически ценных агрегатов и их водопрочность в верхнем 10 см слое уменьшается на более вытоптаных участках (табл. 2), особенно при низкой гумусированности, что приводит к уменьшению коэффициента структурности.

Т а б л и ц а 2

**Оструктуренность и водопрочность агрегатов верхних горизонтов почв высокой поймы  
р. Белой, занятых пастбищами**

№ площад- ки	Тип почвы (индекс)	Рассев	Агрономически ценные агрегаты	% разру- шенной аг- рономиче- ски ценной структуры	$K_{стр}$	Агрегатное со- стояние
Миш-2а min*	ААл <sub>т</sub>	сухой	32,65	<b>51,47</b>	1,80	отличное
		мокрый	17,30			
Миш-2б max*		сухой	19,28	<b>51,35</b>	1,27	хорошее
		мокрый	9,38			
Хм-3а min*	Ал <sub>д</sub>	сухой	5,50	<b>45,09</b>	0,46	неудовл
		мокрый	3,02			
Хм-3б max*		сухой	15,97	<b>75,70</b>	0,32	неудовл
		мокрый	3,88			

*Примечание.* \* Степень пастбищного воздействия.

При оценке водопрочности структуры почв наиболее показательным, в нашем случае, является расчет соотношения суммы агрегатов, размером от 1 до 5 мм, при сухом и мокром расसेве, который наглядно показывает количество или процент разрушенных агрономически ценных агрегатов (табл. 2). На участке Миш-2 количество разрушенных агрегатов, размером от 1 до 5 мм, одинаковое при минимальном и максимальном выпасе скота, а на участке Хм-3 количество разрушенной агрономически ценной структуры при максимальной пастбищной нагрузке увеличивается с 45,09 до 75,70%.

Неконтролируемый выпас скота приводит к образованию на поверхности пойм тропиной сети, которая нередко занимает значительные площади. По примерным подсчетам общая площадь тропиной сети на сильно вытоптанном скотом участке высокой поймы возле пос. Мальта составила около 12%.

При стравливании травы скотом не только нарушается рост травянистых растений, но и изменяется состояние почвы. Это связано с большей испаряемостью влаги из верхнего слоя почв, увеличению прогревания почвы в дневные часы. Нами отмечается уменьшение влажности почв на пастбищах, средних и высоких пойм, при активном выпасе скота. Влажность почв, с разреженным или стравленным растительным покровом, отличается на 0,33-1,34% по сравнению с участками с минимальным стравливанием, что соответствует потере влаги в верхних 10 см почвы в количестве от 0,5 до 6,9 т/га (см. табл. 1).

Значительных изменений химических свойств в почвах под пастбищами выявлено не было.

В результате проведенных исследований выяснено, что почвы, находящиеся под пастбищем испытывают нагрузку от неограниченного выпаса скота. Это связано с непосредственной близостью пастбищ с населенными пунктами. Были выявлены следующие воздействия на луговые фитоценозы: преобладание видов, устойчивых к уплотнению почв, к частой дефолиации или плохо поедаемые скотом. Негативные изменения свойств почв заключаются в уплотнении верхних горизонтов, появлении глыбистых агрегатов, уменьшении водопрочности агрегатов, уменьшению влажности на средних и высоких поймах и локальном заболачивании почв на низких поймах.

Рекомендации по рациональному использованию пастбищ: регулировать выпас скота на исследованной территории; запрещать или ограничивать выпас сразу же после спада павод-

ковых вод; проводить подсев трав, естественных для данной местности, с возможным рыхлением верхнего горизонта почвы.

### Литература

1. Надежкин С. Н., Кузнецов И. Ю. Полезные, вредные и ядовитые растения. М.: Кнорус, 2010. 249 с.
2. Ларин К.В., Бегучее П.П., Работное Т.А., Леонтьева И.П. Луговое хозяйство и пастбищное хозяйство. Л. : Колос, Ленингр. отд-ние, 1975. 528 с.
3. Куклина С.Л. Изменение свойств пойменных почв при антропогенном использовании (долина реки Белой, Прибайкалье) // Экосистемы Центральной Азии в современных условиях социально-экономического развития: Материалы Международной конференции. Т. 1. Улан-Батор (Монголия), 8-11 сентября 2015 г. Улан-Батор, 2015. С. 326–331.

### CHANGING THE PROPERTIES IN FLOODPLAIN PHYTOCENOSSES AND ALLUVIAL SOILS UNDER PASTURE INFLUENCE (BELAYA RIVER, BAIKAL REGION)

S.L. Kuklina

Irkutsk State University, Irkutsk, kukl\_swet@mail.ru

**Summary.** *In the paper results of the studies on changes in the properties of the floodplain phytocenoses and alluvial soils in the Belaya River valley. With uncontrolled grazing, a significant change in the consist of the phytocenoses was detected. Soils experience significant compaction, a change in the structural state, water resistance of the aggregates, in most cases, moisture reserves in the soil decrease.*

**Keywords:** *alluvial soils, floodplain phytocenoses, soil properties, pasture load, trampling, bleeding, Baikal region.*



## ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН И НЕОБХОДИМОСТЬ СОХРАНЕНИЯ РАЗНООБРАЗИЯ ПОЧВ

В.И. Кулагина, А.Б. Александрова, С.С. Рязанов, Э.Х. Рупова

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, viksoil@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается современное состояние типологической представленности почв в сети ООПТ Республики Татарстан. Установлено, что почвенный покров особо охраняемых территорий с наиболее жестким режимом охраны включает в себя только 50% почв, встречающихся на территории республики. Если принять во внимание также почвенный покров государственных природных заказников, то показатель увеличивается до 80%. Предлагается создать специализированные почвенные заказники по охране черноземов оподзоленных и засоленных почв в Республике Татарстан.

**Ключевые слова:** почва, особо охраняемые территории, эколого-биологическое разнообразие, Республика Татарстан.

Сохранение эколого-биологического разнообразия невозможно без сохранения разнообразия почв, которое создает широкий набор экологических ниш для растений и животных, разнообразие ландшафтов. В Республике Татарстан почвы находятся в сфере интенсивного техногенного, сельскохозяйственного, рекреационного воздействия человека. Вследствие низкой лесистости (17,4%), высокой распаханности (76,6%) и отчуждения земель под строительство встает реальная угроза безвозвратного исчезновения некоторых почв [1].

Сохранить разнообразие почв республики можно, лишь создав сеть особо охраняемых территорий, на которой почвенный покров будет представлен репрезентативно, включая и широко распространенные, и редкие почвы. Кроме того, на особо охраняемых территориях почвы сохраняются под естественными биогеоценозами и могут служить эталонами для оценки антропогенного воздействия на почвы прилегающих территорий. Однако очень редко особо охраняемые территории создаются специализированно для сохранения почв. В связи с этим возникает вопрос о том, насколько репрезентативно представлены почвы в сети ООПТ, и что можно сделать для поддержания разнообразия почв.

Целью данной работы было оценить степень представленности почв Республики Татарстан в сети ООПТ и предложить меры по ее улучшению.

Материалами исследования послужили мелкомасштабная почвенная карта Республики Татарстан [2], крупномасштабные почвенные карты Волжско-Камского государственного биосферного заповедника, составленные разными авторами в 1950-70-х годах, почвенная карта Национального парка «Нижняя Кама» М 1:100000, составленная авторами в 2016 г. по заданию ООО «Лесбюро», а также материалы обследования почв заповедника и 23 природных заказников, полученные при полевых исследованиях в рамках создания «Красной книги почв Республики Татарстан» [3]. Идея оценить типологическую представленность почв Республики Татарстан возникла после знакомства со справочно-аналитическим изданием «Почвы заповедников и национальных парков Российской Федерации» [4], а также другими работами ответственных редакторов данного издания [5, 6].

Присяжная с соавторами отмечали, что количество почв, выделяемых на конкретной особо охраняемой территории, в значительной мере зависит от масштаба почвенно-картографических материалов, которые используются при оценке [5]. При этом количество выделенных почв может отличаться в два раза и более.

Похожие результаты были получены нами при сопоставлении количества почвенных разновидностей на территории Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника и Национального парка «Нижняя Кама», подсчитанных при помощи мелкомасштабной почвенной карты и материалов более подробных почвенных исследований, проведенных сотрудниками ИПЭН АН РТ. Количество выделяемых почв отличалось в 2-3 раза [7].

При этом даже согласно результатам подробного обследования на территории Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника и Национального парка «Нижняя Кама» встречается лишь 50% от общего разнообразия почв Республики Татарстан, если сравнивать с полным списком почв из легенды к почвенной карте республики М 1:1250000 [2]. Полученные данные близки к данным в целом по Российской Федерации. В заповедниках и национальных парках России представлено 55,6% типологического разнообразия почв в соответствии с легендой Почвенной картой РСФСР [5].

Таким образом, в ООПТ Республики Татарстан с наиболее жестким режимом охраны не представлены черноземы (все три подтипа, встречающиеся на территории республики), лугово-черноземные почвы, темно-серые лесные почвы, дерново-карбонатные типичные и дерново-карбонатные оподзоленные почвы, солоды, солончаки и солонцы, а также их комплексы.

Если вместе с ООПТ с наиболее строгим режимом охраны учесть также представленность почв в государственных природных заказниках Республики Татарстан, то полученный результат будет гораздо лучше: суммарно в сети данных ООПТ представлено 80% почв республики. Отсутствуют на территории государственных природных заказников черноземы оподзоленные и засоленные почвы. Необходимо отметить, что и на примере Республики Татарстан прослеживается та же тенденция, на которую обратили внимание авторы справочно-аналитического издания «Почвы заповедников и национальных парков Российской Федерации» [4], а именно: почвы черноземной зоны имеют слабую площадную и неполную типологическую представленность в сети ООПТ.

Зона распространения черноземов традиционно отличается очень высокой сельскохозяйственной освоенностью, обрабатывается каждый более-менее пригодный под земледелие участок. Под особо охраняемые территории отводятся неудобья или ландшафты, резко отличающиеся от фоновых, в том числе по почвам. Таким образом, даже в черноземных районах не так много заказников, почвенный покров которых представлен черноземами. На настоящий момент можно назвать всего три таких заказника в Республике Татарстан. Черноземы выщелоченные и типичные представлены на территории Казанкинского ботанического заказника по сохранению адониса весеннего (Бугульминский район) и Государственного природного заказника регионального значения комплексного профиля Чатыр-Тау (Азнакаевский район). Черноземы типичные встречаются среди других типов почв на территории Государственного природного заказника регионального значения комплексного профиля Степной (Лениногорский район). Черноземы оподзоленные, хотя и занимают значительные площади на территории республики, особенно в Дрожжановском, Тетюшском, Камско-Устьевском, Апастовском, Алексеевском и Апастовском районах [2], в настоящее время не представлены в сети ООПТ.

Засоленные почвы – солонцы, солончаки, солоды и их комплексы с другими почвами – занимают сравнительно небольшие площади, но все же отмечены на почвенной карте Республики Татарстан М 1:1250000 [2]. К ним могут быть приурочены местообитания редких краснокнижных видов растений.

Для сохранения разнообразия почв и улучшения их представленности в сети ООПТ предлагается создать Государственный природный заказник по охране естественных черноземов оподзоленных на территории Дрожжановского района РТ площадью около 67,5 га (примерные координаты: N54°36'46,7" E47°26'9,5"). Растительность – дубняк. Местоположение участка было установлено при проведении полевых экспедиций по подготовке «Красной книги почв Республики Татарстан» [3]. Это наиболее крупный участок, предлагаемый для резервирования земель под особо охраняемые территории. Остальные участки с черноземными почвами, находящиеся под естественными биогеоценозами, имеют гораздо меньшую площадь. Для выделения резервных участков под особо охраняемые территории с засоленными почвами требуются дополнительные исследования.

#### Литература

1. Иванов Д.В., Александрова А.Б., Григорьян Б.Р., Кулагина В.И. Редкие и исчезающие почвы Республики Татарстан // Георесурсы. 2011. № 5 (41). С. 9–12.

2. Атлас Республики Татарстан. М.: Производственное картосоставительское объединение «Картография», 2005. С. 90–91.

3. Александрова А.Б., Бережная Н.А., Григорьян Б.Р., Иванов Д.В., Кулагина В.И. Красная книга почв Республики Татарстан / под ред. Д.В. Иванова. 1-е изд. Казань: Фолиант, 2012. 192 с.

4. Почвы заповедников и национальных парков Российской Федерации / гл. ред. Г.В. Добровольский; отв. ред. О.В. Чернова, В.В. Снакин, Е.В. Достовалова, А.А. Присяжная. М.: Фонд «Инфосфера» – НИИ-Природа, 2012. 476 с.

5. Присяжная А.А., Чернова О.В., Снакин В.В. Развитие системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ) – основа сохранения биологического разнообразия природных комплексов // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2016. Т. 11, № 1. С. 9.

6. Чернова О.В. Оценка репрезентативности сети особо охраняемых природных территорий России с точки зрения сохранения разнообразия естественных почв // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2016. Т. 11, вып. 1. С. 10.

7. Кулагина В.И., Григорьян Б.Р., Александрова А.Б., Иванов Д.В., Рязанов С.С., Рупова Э.Х., Солодников О.М. Оценка представленности основных типов почв Республики Татарстан в сети особо охраняемых территорий // Российский журнал прикладной экологии. 2017. № 3. С. 33–36.

## **SPECIALLY PROTECTED AREAS OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN AND NECESSITY OF SOILS VARIETY CONSERVATION**

V.I. Kulagina, A.B. Alexandrova, S.S. Ryazanov, E.H. Rupova

Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, viksoil@mail.ru

**Summary.** *The article considers the current state of typological soil representation in the network of protected areas of the Republic of Tatarstan. It has been established that the soil cover of specially protected areas with the most severe protection regime includes only 50% of the soil types occurring on the territory of the republic. If to take into account the soil cover of the state nature reserves, the representativeness is increased to 80%. It is proposed to create specialized soil sanctuaries for preservation of podzolized chernozems and saline soils in the Republic of Tatarstan.*

**Keywords:** *soil, protected natural territories, ecological and biological diversity, Republic of Tatarstan.*

## АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ В ПОЧВАХ РОСТОВСКОГО ЗООПАРКА

А.Л. Лесина<sup>1</sup>, А.А. Александров<sup>1</sup>, Ю.С. Бакаева<sup>1</sup>, А.В. Жадобин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, alister.lesina@gmail.com

<sup>2</sup> Ростовский-на-Дону зоопарк

**Аннотация.** Проведено исследование активности каталазы разных участков зоопарка в городе Ростов-на-Дону – одного из крупнейших зоопарков в России и Европе. Получены данные, свидетельствующие о незначительных расхождениях между контрольными значениями и активностью фермента в почвах вольеров с разными животными и рекреационной площадки.

**Ключевые слова:** зоопарк, ферментативная активность, биоиндикаторы.

Исследование почв вольеров животных в зоопарках практически неизученная сфера в России. Подобное исследование было выполнено ранее для Московского зоопарка [1]. Территория зоопарка Ростова-на-Дону представляет особый интерес и имеет значительную теоретическую и несомненную практическую значимость.

Цель работы – исследовать активность каталазы в почвах разных участков Ростовского зоопарка с целью биодиагностики экологического состояния почв. Исследование проводили в мае 2018 года, объектами стали вольеры с журавлями, зебрами Чапмана, благородными оленями, верблюдом двугорбым. Контрольным участком сравнения служил парковый участок зоопарка. Дополнительно провели исследования участка с сильным нарушением почвы рекреацией (детской площадки). В качестве биологического индикатора исследовали активность каталазы по газометрическому методу А.Ш. Галстяна [2]. Фермент каталаза был выбран на основании того, что его активность является эффективным диагностическим показателем при изучении экологического состояния почв и различных видов антропогенного воздействия [2]. Каталазная активность почвы обусловлена деятельностью почвенных микроорганизмов и осуществляет разрушение пероксида водорода, образующегося при биохимических реакциях. Также данный фермент чувствителен, и реагирует в сторону снижения активности при загрязнении нефтью и нефтепродуктами, тяжелыми металлами, воздействиях ионизирующих излучений [3]. В каждом вольере отбирали по 3 образца почв и в каждом из них проводили определение активности каталазы в 3 повторностях.

Почвенный покров исследуемой территории представлен черноземом обыкновенным, которые широко распространены на юге России [4]. Почвы зоопарка в той или иной степени изменены по сравнению с природными аналогами вследствие антропогенного воздействия и вытаптывания животными. Степень повреждения поверхности почв зависит от величины вольера и количества и размера содержащихся в них животных [5]. Оценка активности каталазы проводилась в соответствии со шкалой Д.Г. Звягинцева [6]. Все анализируемые участки показали среднюю активность каталазы, что является хорошим показателем, отражающим высокую биологическую активность почв. Результаты определения активности фермента не отразили значительных различий между почвами разных учетных площадок. В вольере с журавлями средняя активность каталазы (7,6 мл O<sub>2</sub>/г/мин). Такая же активность отмечена для почв в вольере с зебрами (7,4), несмотря на то, что здесь в почву добавлен песок для улучшения водно-физических свойств почв. Немного выше активность в почве вольера с верблюдом (8,1), что тоже не выходит за рамки средних значений. Повышенные значения показателя ферментативной активности отмечены в почвах небольшого вольера с самцом благородного оленя, на детской площадке и на контрольном участке парковой зоны (везде одинаковые значения – 9,1 мл O<sub>2</sub>/г/мин). Самым же высоким зафиксированным значением активности каталазы (9,5), оказался вольер с самками благородных оленей, где год назад в течение многих лет содержались эму, которые практически не нарушили физические параметры почв. Видимо здесь почвенный покров, характеризующийся наименьшей деградацией почвенной структуры, еще не успел деградировать при краткосрочном содержании оленей. Проведен-

ные в ноябре 2017 года исследования показали более значительные расхождения активности каталазы в почвах разных участков [7]. По всей видимости, в мае 2018 года оптимальные гидротермические условия в почвах всех исследуемых участков нивелировали возможные различия ферментативной активности. Возможно, в летние месяцы во время засушливых условий различия могут проявиться в большей мере.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки РФ (5.5735.2017/8.9) и ведущей научной школы РФ (НШ-3464.2018.11).*

### Литература

1. Юркова Н.Е. Экологическое состояние и функционирование почв Московского зоопарка: автореф. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 2008. 165 с.
2. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2012. 380 с.
3. Даденко Е.В., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Оценка применимости показателей ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв // Поволжский экологический журнал. 2013. № 4. С. 385–393.
4. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Ростовской области. Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2012. 492 с.
5. Жадобин А.В., Казеев К.Ш., Барабашев А.И., Колесников С.И. Перспективы исследований экологического состояния и функционирования почв Ростовского зоопарка // Экология и биология почв. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2017. С. 58–61.
6. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54.
7. Жадобин А.В., Барабашев А.Ю., Агак О.С., Александров А.А., Лесина А.Л., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биологическая индикация почв Ростовского зоопарка // Техногенные системы и экологический риск. Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2018. С. 202–203.

### ACTIVITY OF CATALASE IN SOILS OF ROSTOVSKY ZOO

A.L. Lesina<sup>1</sup>, A.A. Aleksandrov<sup>1</sup>, Yu.S. Bakaeva<sup>1</sup>, A.V. Zhadobin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Southern Federal University, Rostov-on-Don, alister.lesina@gmail.com

<sup>2</sup> Rostov-on-Don Zoo

**Summary.** *The catalase activity is investigated in soils of different parts of the zoo in the city of Rostov-on-Don. It is one of the largest zoos in Russia and Europe. Catalase activity data show slight discrepancies between the control values and the soils enzyme activity of cages with animals and the recreational site.*

**Keywords:** *zoo, enzymatic activity, bioindicators*

## БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ БАСЕЙНА ВЕРХНЕЙ УССУРИ ПО ДАННЫМ СОСТАВА ВОДНЫХ ВЫТЯЖЕК И ПОЧВЕННЫХ РАСТВОРОВ

Т.Н. Луценко<sup>1</sup>, М.Л. Бурдуковский<sup>2</sup>, А.Г. Болдескул<sup>1</sup>, В.В. Шамов<sup>1</sup>,  
Н.К. Кожевникова<sup>2</sup>, Т.С. Губарева<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, luts@tig.dvo.ru

<sup>2</sup> Федеральный научный центр биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

<sup>3</sup> Институт водных проблем РАН, Москва

**Аннотация.** *Исследован состав вытяжек и лизиметрических вод почв двух горно-лесных бассейнов верховий р. Уссури. Установлено, что для вытяжек и лизиметрических вод почв бассейна руч. Медвежий выше рН, концентрации  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Si}$  за счет пород основного состава по сравнению с бассейном руч. Еловый, где присутствуют породы более кислого состава и преобладают хвойные. Несмотря на различия типов растворов, изучение их состава позволило выявить сходные биогеохимические особенности ландшафтов.*

**Ключевые слова:** горно-лесные почвы, водная вытяжка, лизиметры, макросостав.

Информация о составе водорастворимой фазы почв важна при изучении миграции элементов в природных и антропогенных ландшафтах. Почвенные растворы являются той необходимой средой, в которой происходит почвообразование и выветривание, основные биотические процессы, формирование вод местного стока [1].

Отличительной чертой почв юга Дальнего Востока является высокая вариабельность факторов почвообразования, связанная со сложностью горного рельефа, крайне разнородными материнскими породами, контрастностью климата, широким спектром биоценозов [2]. Эти особенности в полной мере выражены на территории Верхне-уссурийского стационара (ВУС) Федерального Центра биоразнообразия ДВО РАН, расположенного в бассейне р. Правая Соколовка, входящей в систему верховий р. Уссури.

Цель работы – 1) сопоставить состав водных вытяжек с составом лизиметрических вод двух контрастных по факторам почвообразования горно-лесных бассейнов 2) по полученным данным выявить биогеохимические особенности исследуемых бассейнов

**Объекты и методы исследования.** Климат района формируется под влиянием восточно-азиатского муссона умеренных широт и в целом характеризуется как влажный умеренно-холодный [3]. Геологическая история бассейна р. Пр. Соколовки достаточно сложная. Правый борт ее долины слагают более древние породы основного состава ранней-средней юры [4]. Левый борт представлен более молодыми породами среднего и кислого состава позднего мела. По своим природным характеристикам территория типична для среднегорного пояса Южного Сихотэ-Алиня и служит своеобразным эталоном южной тайги с господством широколиственно-кедровых и пихтово-еловых лесов [3]. В исследуемых бассейнах развиты типичные буроземы разной степени оподзоленности в зависимости от позиции в ландшафте.

Полевые работы выполнены в течение теплого сезона 2015 г. Основные наблюдения сосредоточены на водосборах ручьев Еловый (3,48 кв. км) и Медвежий (7,5 кв. км), являющихся левым и правым притоками р. Правая Соколовка (рис. 1). Бассейн руч. Резервный (0,98 кв. км) представляет собой эталонный водосбор, здесь сохранились коренные кедрово-широколиственные леса.

Для отбора почвенно-грунтовых вод использовались тензиолизиметры DIK-8392, Daiki Rika Kogyo Co. Ltd. Тензиолизиметры (Тл), позволяющие извлекать пробы воды из почв нарушенного сложения, были заложены на разных глубинах в местах концентрации гравитационной влаги. Ограничением использования данных тензиолизиметров в горно-лесных почвах является невозможность собрать почвенные растворы органогенных горизонтов, поскольку высокая порозность и дренируемость почв способствует быстрой фильтрации выпадающих осадков через почвенную толщу.

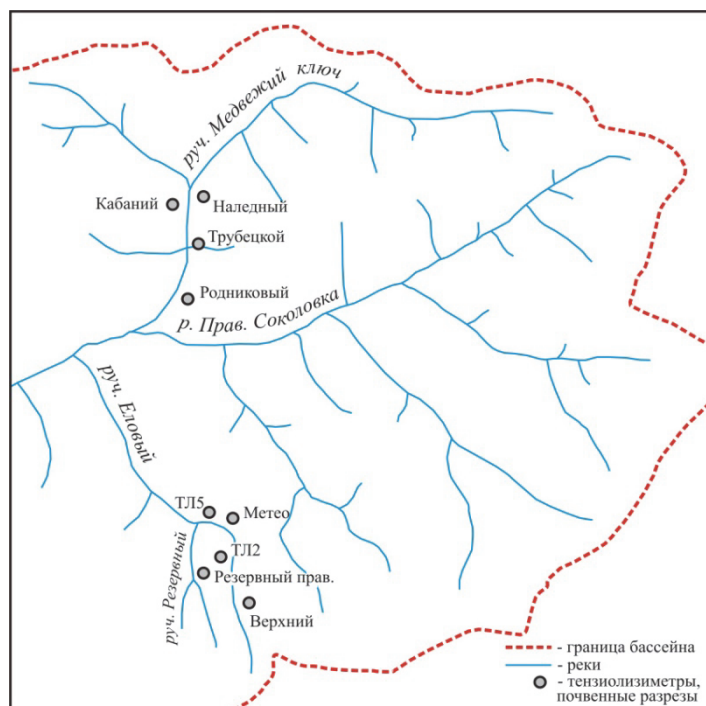


Рис. 1. Карта-схема бассейна р. Пр. Соколовка с пробными площадками

В бассейне руч. Еловый были заложены тензиолизиметры Верхний и Метео, абс. выс. 720 м, а также тензиолизиметры Тл 5, Тл 2, Тл Резервный правый, абс. выс. 640–660 м (рис. 1, табл. 1). В бассейне руч. Медвежий, частично вырубленном 50 лет назад, были установлены Тл Кабаний, абс. выс. 565 м, Тл Трубецкой, абс. выс. 596 м, Тл Наледный, 575 м – в узком распадке между двумя склонами, Тл Родниковый, абс. выс. 552 м (рис. 1, табл. 2).

Полнопрофильные почвенные разрезы заложены на склонах в 2 метрах выше лизиметров.

Водные вытяжки получены при соотношении почва:вода 1:5 [5]. pH измеряли потенциометрически, содержание гидрокарбонат-иона – потенциометрическим титрованием по стандартной методике. Концентрацию главных анионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) анализировали на хроматографе LC 10Avr, главных катионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) – АА спектрометре Shimadzu AA 6800. Общий растворенный кремний определяли на спектрофотометре. Анализ растворенного органического углерода ( $\text{C}_{\text{орг}}$ ) в вытяжках выполнен на ТОС-анализаторе.

**Обсуждение результатов.** Химический состав водных вытяжек представлен в табл. 1, 2. Максимальной концентрацией водорастворимых веществ и их вариабельностью отличаются вытяжки подстилок. Профильное распределение pH и элементов макросостава вытяжек носит сходный характер, но динамика концентраций отражает различия условий почвообразования (подстилающие породы, абсолютная высота, экспозиция и крутизна склона, тип леса и его парцеллярная структура) между бассейнами и в пределах каждого бассейна-между почвенными профилями.

Присутствие пород кислого состава в литогенном субстрате и преобладание хвойных пород обуславливают более высокую общую кислотность вытяжек бассейна руч. Еловый. Их pH в среднем ниже на 0,4–0,9 ед. по сравнению с pH вытяжек почв бассейн руч. Медвежий. Вытяжки почвенных разрезов, заложённых на самых высоких отметках руч. Елового (Тл Верхний и Метео) кислые по всему профилю, в отличие от остальных, характеризующихся слабокислой реакцией (pH 5,6–6,2) и, преимущественно, кислых в нижележащих горизонтах. Для вытяжек почв руч. Медвежий по всему профилю характерны более высокие концентрации  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , Si за счет выщелачивания материнских пород основного состава, менее устойчивых к физико-химическому выветриванию.

Преобладающим компонентом вытяжек является растворенный органический углерод ( $\text{C}_{\text{орг}}$ ), концентрации которого в подстилках и гумусовых горизонтах выше в руч. Медвежий

Кл., чем в руч. Еловый. Это соответствует заключению, о том, что содержание гумуса в кедрово-широколиственных лесах Пр. Соколовки в целом выше, чем в пихтово-еловых [6].

Т а б л и ц а 1

**Химический состав (мг/л) водных вытяжек почв бассейнов руч. Еловый и Резервный.  
M\* – сумма минеральных элементов**

Горизонт, глубина, см	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	C <sub>орг</sub>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Si	M*
Бурозем типичный оподзоленный?, коренной кедрово-еловый лес, Тл Верхний												
АО, 0-2	5,34	83,0	1087,8	12,0	216,0	36,2	121,7	28,0	105,8	2,5	8,8	614,0
A1, 2-6	5,05	9,3	199,6	2,5	59,9	5,8	20,0	4,7	8,2	0,6	2,1	113,0
A1, 6-30	4,30	0	51,5	1,1	1,9	1,4	9,9	0,6	1,3	0,4	0,7	17,3
B1, 30-85	4,76	2,4	25,4	0,8	0,9	0,6	8,0	0,4	1,2	0,2	1,3	15,9
BC, 85-130	4,70	0	26,8	1,4	0,9	0,9	8,1	0,4	1,6	0,5	1,3	15,1
C1, 130-140	5,08	2,4	14,9	0,9	0,7	1,0	7,1	0,3	1,6	0,4	1,4	15,8
Бурозем типичный оподзоленный, березово-тополевый лес, рубка 1965 г., Тл Метео												
АО, 0-3	5,34	111,1	1041,6	12,4	27,6	22,0	105,5	18,0	82,3	2,3	8,7	389,8
A1, 3-11	5,10	7,3	155,4	3,0	4,6	4,6	18,8	2,6	4,4	0,8	1,7	47,8
A1A2, 11-32	4,37	0	55,5	1,0	1,7	1,4	9,2	0,6	1,1	0,5	1,9	17,4
B1, 32-72	4,99	0,1	26,3	0,6	0,8	0,9	8,0	0,3	1,0	0,6	2,8	15,1
BC, 72-80	4,97	0	21,9	0,8	1,7	1,2	7,7	0,3	1,1	0,8	2,5	16,0
Бурозем типичный ?, березово-тополевый лес, рубка 1965 г., Тл 5												
АО, 0-4	5,60	85,4	854,6	10,0	67,2	23,6	88,5	26,8	70,7	1,3	9,0	382,5
A1, 4-12	4,50	0	133,3	1,8	25,3	5,7	15,6	2,6	5,3	1,3	1,2	58,9
AB, 12-21	4,65	0	44,5	1,2	1,2	1,5	9,0	0,3	1,3	0,5	2,1	17,1
B2, 21-50	5,80	0,7	24,8	0,8	1,1	0,8	1,7	0,3	0,7	0,6	4,4	11,1
BC, 50-82	4,85	0	21,1	1,6	1,0	1,0	1,3	0,4	1,5	0,8	2,3	10,0
Бурозем типичный, березово-еловый лес, рубка 1965 г., Тл 2												
АО, 0-2	5,58	68,3	659,8	10,0	416,0	22,6	198,7	44,3	138,6	2,0	8,8	909,1
A1, 2-4	4,52	0	126,4	1,2	8,8	2,7	11,3	1,9	2,7	0,9	1,5	31,1
AB, 4-23	4,80	0	109,0	1,2	10,6	2,1	12,5	1,3	2,9	1,0	2,0	33,5
B1, 23-30	4,80	0	59,6	1,0	3,5	1,6	6,4	0,8	1,1	1,0	1,7	17,0
B2, 30-40	4,80	0	42,3	0,9	2,3	1,2	3,5	1,0	1,6	0,9	1,4	12,7
Бурозем типичный, коренной кедрово-широколиственный лес, Тл Резервный												
АО, 0-2	5,83	126,9	1016,4	28,6	139,8	25,3	112,4	33,9	165,0	1,4	8,9	642,1
A1, 2-10	4,80	0	102,3	1,4	13,5	2,3	13,2	2,5	2,9	0,6	1,0	37,4
AB, 10-17	4,37	0	76,3	1,1	5,6	2,7	5,3	1,3	1,6	0,6	1,0	19,2
B1, 17-45	4,60	0	35,4	1,1	1,0	1,2	4,4	,6	1,4	0,5	1,0	11,2
B2, 45-60	4,64	0	31,6	0,8	0,9	1,1	2,2	0,3	1,4	0,6	1,1	8,5
BC, 60-80	4,63	0	28,3	0,7	0,8	1,0	1,9	0,2	1,7	0,5	1,1	7,9

Концентрации C<sub>орг</sub>. превышают сумму минеральных компонентов (M) в 1,3-4 раза, причем наиболее широкое соотношение соответствует почвам минеральных горизонтов.

Площадки правого борта руч. Елового – Тл Верхний, Метео, Тл5, очевидно, близки по гидротермическим условиям, что подтверждается сходством концентраций C<sub>орг</sub>., HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>. С этими данными сходны по составу вытяжки разреза Тл Резервный, также заложеного на правом склоне руч. Еловый. От них резко отличается состав вытяжек разреза Тл 2, заложеного на противоположном, левом склоне восточной экспозиции. Особенностью склона является сплошная 50-летняя вырубка, после которой здесь вырос березовый лес с участием подроста ели. Судя по минимальной среди вытяжек подстилок концентрации C<sub>орг</sub>. и HCO<sub>3</sub>, эта площадка характеризуется самой высокой скоростью биокруговорота.

Аналогичный тренд повторяется в бассейне руч. Медвежий. Почвенные вытяжки площадок Тл Наледный, Трубецкой, Родниковый, заложены на левом, более затененном и холодном борту долины, содержат довольно высокие концентрации C<sub>орг</sub>. (1096-1329 мг/л). В особенно холодных условиях формируются почвы площадки Тл Наледный, где высокие содержания C<sub>орг</sub>., нитратного азота и зольных элементов свидетельствуют о слабой минерализации и заторможенности процессов биокруговорота.



## Химический состав (мг/л) водных вытяжек почв бассейнов руч. Медвежий Ключ

Горизонт, глубина, см	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Сорг.	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Si	M
Бурозем типичный, березово-ольховый лес, Тл Наледный												
АО, 0-2	6,21	208,7	1191,8	60,8	475,6	28,4	249,3	47,9	253,5	2,3	10,3	1336,7
А1, 2-9	5,25	12,7	192,3	2,5	113,1	8,8	68,8	10,1	4,5	1,3	3,7	225,5
А1А2, 9-17	5,75	11,7	142,7	2,0	22,2	3,8	23,6	3,7	1,5	1,5	5,5	75,4
В1, 17-25	5,90	11,5	68,4	0,8	3,5	1,3	10,7	1,7	0,9	1,3	4,8	36,4
ВС, 25-65	6,13	5,9	18,5	0,8	1,4	1,4	3,8	0,6	0,6	1,5	3,3	19,3
С1, 65-80	6,15	6,0	17,4	0,8	1,5	1,8	3,6	0,6	0,9	1,6	3,9	20,7
Бурозем типичный, пихтово-еловый лес, Тл Трубецкой												
АО, 0-2	5,89	166,0	1328,8	13,0	60,6	21,5	43,6	21,1	106,8	1,7	10,	444,3
А1, 2-11	5,60	12,4	163,7	1,6	25,3	3,8	28,9	3,4	5,4	1,0	2,9	84,6
АВ, 11-40	5,74	0	54,4	0,9	1,6	2,2	10,8	0,6	0,4	1,3	5,1	22,9
В, 40-95	5,72	10,0	21,8	0,7	0,9	3,9	8,4	0,4	0,5	1,3	4,6	28,8
Бурозем типичный, кедрово-широколиственный лес, Тл Родниковый												
АО, 0-2	5,79	128,1	1096,2	20,4	356,9	23,4	182,2	44,5	172,0	2,0	12,5	941,8
А1, 2-9	5,44	12,8	196,6	1,4	51,1	4,6	36,7	6,4	7,6	0,9	3,6	125,0
АВ, 9-15	4,67	0	117,6	0,7	6,4	2,9	9,7	2,3	2,0	1,0	4,4	29,4
В1, 15-35	4,75	0	78,8	1,7	2,3	1,8	6,5	1,3	1,1	1,4	5,9	22,0
В2, 35-83	5,70	4,2	33,9	1,4	1,3	1,6	4,0	0,7	0,3	1,8	6,1	21,4
С, 83-113	6,17	7,8	27,7	1,1	1,0	1,7	8,4	0,7	0,4	2,4	6,5	29,9
Бурозем типичный, пихтово-широколиственный лес, Тл Кабаний												
АО, 0-4	5,74	179,4	762,4	10,8	95,8	19,2	113,7	23,9	114,9	1,2	10,2	569,1
А1, 4-11	5,84	6,6	131,8	1,3	18,6	2,8	23,7	3,6	5,0	0,6	2,8	75,0
АВ, 11-42	5,05	0	67,1	0,8	1,8	1,5	12,4	0,6	0,5	0,8	3,1	21,4
В1, 42-60	4,86	0,1	40,1	0,9	0,7	1,2	9,3	0,6	0,6	0,9	3,8	18,1
В2, 60-74	5,09	0	27,0	0,7	0,7	1,0	8,3	0,5	0,5	1,0	3,4	16,0
ВС, 80-90	5,42	0	19,9	1,1	0,7	1,2	8,5	0,4	0,5	1,3	3,9	17,6
С, 115-130	5,60	0	13,3	1,0	0,7	1,3	7,8	0,3	0,6	1,4	4,9	17,9

Профиль на ТЛ Кабаний заложен на противоположном, дольше освещенном и более теплом склоне восточной экспозиции. Это отражается в снижении содержания С<sub>орг.</sub> и нитратного азота по сравнению с почвами склона западной экспозиции.

Таким образом, наиболее резкие отличия состава водных вытяжек установлены для противоположных склонов бассейнов и контрастнее всего они выражены в содержании С<sub>орг.</sub>

В данном исследовании для анализа были доступны только воды минеральных горизонтов, полученные посредством тензиолизиметров. Воды Тл Верхний и Метео имели слабнокислый pH (6,4-6,6), гидрокарбонатно-натрий-кальциевый (магний-кальциевый) состав воды, минерализацию 36-44 мг/л, содержание С<sub>орг.</sub> 2-4 мг/л. Воды минеральных горизонтов Тл Кабаний, Родниковый, Трубецкой характеризовались нейтральными значениями pH (6,8-7,6), низким С<sub>орг.</sub>, средней минерализацией 45, 60, 160 мг/л, соответственно. Таким образом водная вытяжка переводит в раствор больше органических соединений, но относительно меньше минеральных по сравнению с водами тензиолизиметров. Поэтому водные вытяжки имеют более низкий pH и другое соотношение основных ионов.

Состав водных вытяжек при пересчете в эквивалентную форму отличается большим преобладанием суммы катионов над анионами, эта разница дает приближенное количество анионов органических веществ, достигающее 50–80%-эквивалентов.

**Заключение.** Исследования показали, что присутствие пород кислого и среднего состава в литогенном субстрате и преобладание хвойной растительности обуславливают более высокую кислотность и низкую минерализацию вытяжек и лизиметрических вод бассейна руч. Еловый.

Установлено, что, как для вытяжек почв, так и лизиметрических вод, для бассейна руч. Медвежий характерны более высокие концентрации HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Si за счет выщелачивания пород основного состава, менее устойчивых к выветриванию.

Наиболее резкие отличия состава водных вытяжек выявлены для противоположных бортов бассейнов и контрастнее всего они выражены в содержании  $C_{орг}$  и нитратного азота, хотя его поведение, как элемента с более коротким циклом, не всегда следует динамике  $C_{орг}$ .

Сравнение водных вытяжек и вод тензиолизиметров минеральных горизонтов показало, что водная вытяжка переводит в раствор относительно большее количество органических и минеральных соединений, но их соотношение гораздо шире, чем в лизиметрических водах. Поэтому водные вытяжки имеют более низкий рН. Главным отличием этих двух типов растворов является резкое преобладание органических анионов в вытяжках по сравнению с лизиметрическими водами, где главным анионом выступает гидрокарбонат-ион. Но несмотря на большие различия типов рассмотренных растворов, изучение динамики их состава позволило выявить сходные биогеохимические особенности ландшафтов.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (16-05-00182 А, 16-05-00541 А).*

### Литература

1. Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. Геохимия ландшафтов и техногенез. М.: Наука, 1990. 194 с.
2. Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 198 с.
3. Жильцов А.С. Гидрологическая роль горных хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2008. 331 с.
4. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:1000000, лист К-53. СПб., 2006.
5. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 457 с.
6. Сапожников А.П., Селиванова Г.А., Ильина Т.М., Дюкарев В.Н., Бутовец Г.А., Гладкова Г.А., Гавренков Г.И., Жильцов А.С. Почвообразование и особенности биологического круговорота веществ в горных лесах Южного Сихотэ-Алиня (на примере Верхнеуссурийского стационара). Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1993. 267 с.

### BIOGEOCHEMICAL FEATURES OF SOILS OF THE UPPER USSURI ON THE COMPOSITION OF WATER EXTRACTS AND SOIL SOLUTIONS

T.N. Lutsenko<sup>1</sup>, M.L. Burdukovskii<sup>2</sup>, A.G. Boldeskul<sup>1</sup>, V.V. Shamov<sup>1</sup>, N.K. Kozhevnikova<sup>2</sup>, T.S. Gubareva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pacific Geographical Institute FEBRAS, Vladivostok, luts@tig.dvo.ru

<sup>2</sup> Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Vladivostok

<sup>3</sup> Water Problems Institute RAS, Moscow

**Summary.** *The composition of extracts and lysimetric waters of soils of two mountain forest basins of the r. Ussuri R. upper reaches were studied. It was established that the Medvezhyi Stream extracts and waters have higher pH and concentration of  $HCO_3^-$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ , Si due to the basic rocks. It differs from the coniferous Elovyyi Stream where rocks are more acidic. Despite the differences in types of solutions, the study of their composition had revealed similar biogeochemical features of basins.*

**Keywords:** *mountain-forest soil, water extracts, lysimeters, macroelements*

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ПОЧВ ПРИМОРСКОГО КРАЯ ПО САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Р.А. Макаревич, А.Н. Качур

ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, mak@tigdvo.ru

**Аннотация.** *Оценено состояние почв лесных, залежных, пастбищных и дачных участков по паразитологическим (цисты патогенных простейших, яйца гельминтов и личинки гельминтов жизнеспособные) и микробиологическим показателям. По паразитологическим показателям и по патогенным бактериям, в том числе и по сальмонеллам, все обследованные почвы нормируются как «чистые». Бактерии группы кишечной палочки и энтерококки обнаружены в почвах в сильно варьирующих количествах. Состояние почв по данным показателям соответствует нормативным категориям «чистая», «умеренно опасная» и «опасная».*

**Ключевые слова:** *почвы, паразитологические показатели, микробиологические показатели, Приморский край.*

Экологическое состояние почв чаще всего оценивается загрязнением их химическими веществами первых классов опасности для всего живого [1]. Изучение биологического загрязнения почв патогенными и условно патогенными формами организмов, несмотря на существующую законодательную базу [2], до сих пор не получило широкого развития. Однако на актуальность этих работ указывают участвовавшие в последние годы случаи заражения населения различными кишечными инфекциями, что отражено не только в средствах массовой информации, но и в государственных документах [3]. Почвы, загрязненные патогенными микроорганизмами, способствуют усилению эпидемической опасности территории. Важность медико-гигиенических исследований почв подчеркивал еще в 1890 году основоположник отечественного почвоведения В.В. Докучаев в докладе на VIII съезде русских естествоиспытателей и врачей [4].

Целью представленной работы явилась оценка экологического состояния и качества почв различного хозяйственного назначения в Приморском крае по паразитологическим (цисты патогенных простейших, яйца гельминтов и личинки гельминтов жизнеспособные) и микробиологическим (патогенные бактерии, в том числе сальмонеллы, бактерии группы кишечной палочки и энтерококки) показателям.

**Объекты и методы исследования.** В качестве объектов исследования выбраны почвы лесных, залежных, пастбищных и дачных участков, расположенных в Пожарском, Кировском, Черниговском, Михайловском, Партизанском районах и на территории Уссурийского городского округа (рис. 1).

В границах каждого участка отобраны почвенные образцы на пяти пробных площадках, расположенных в центральной части участка и на 4-х угловых его сегментах. Дачные участки опробованы только на одной площадке. Каждая пробная площадка представляла собой квадрат размером 3\*3 м. На ней с соблюдением требований асептики [5] отобраны по методу конверта пять точечных почвенных проб одного объема из поверхностного слоя 0–5 см. Перед отбором каждой пробы проводилась термическая стерилизация рабочего инструмента с помощью портативной газовой горелки. Из пяти точечных проб составлялся гомогенный интегральный образец для последующего анализа. Образец сразу герметично упаковывался в стерильные полиэтиленовые пакеты, помещался в автомобильный холодильник и в течение суток доставлялся в ФГУ здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Приморском крае» для лабораторных исследований по нормативным методикам [6, 7].



Рис. 1. Местоположение и номера обследованных участков

**Обсуждение результатов.** По результатам анализа было установлено отсутствие во всех обследованных почвах организмов эпидемической опасности – паразитологических показателей и патогенных бактерий, включая сальмонеллы. Бактерии группы кишечной палочки (БГКП) и энтерококки (фекальные стрептококки) обнаружены во многих проанализированных почвах. Согласно нормативным оценкам [8], в качестве «чистой» нормируется почва с индексами БГКП и энтерококков менее 10 колониеобразующих единиц (КОЕ) на 1 г почвы. Более высокие индексы указывают на неблагополучие ее санитарного состояния.

Результаты определения количества БГКП и энтерококков в почвах лесных, залежных, пастбищных и дачных участков и оценки качества почв представлены в таблице.

**Оценка качества обследованных почв по микробиологическим показателям**

№ участков	№ пробных площадок	Индекс энтерококков, в КОЕ/г	Индекс БГКП, в КОЕ/г	Соответствие нормативным требованиям	Категория загрязнения почв
<b>Почвы лесных участков</b>					
1	1	0	0	Соответствует	Чистая
	2	120	150	Не соответствует по индексам БГКП и энтерококков	Опасная
	3	40	100	Не соответствует по индексам БГКП и энтерококков	Умеренно опасная
	4	0	0	Соответствует	Чистая
	5	0	0	Соответствует	Чистая
2	1	8	0	Соответствует	Чистая
	2	0	0	Соответствует	Чистая
	3	0	0	Соответствует	Чистая
	4	0	0	Соответствует	Чистая
	5	0	0	Соответствует	Чистая
<b>Почвы залежных участков</b>					
3	1	7	0	Соответствует	Чистая
	2	80	80	Не соответствует по индексам БГКП и энтерококков	Умеренно опасная
	3	0	0	Соответствует	Чистая

№ участков	№ пробных площадок	Индекс энтерококков, в КОЕ/г	Индекс БГКП, в КОЕ/г	Соответствие нормативным требованиям	Категория загрязнения почв
	4	0	0	Соответствует	Чистая
	5	0	0	Соответствует	Чистая
4	1	5	150	Не соответствует по индексу БГКП	Опасная
	2	7	80	Не соответствует по индексу БГКП	Умеренно опасная
	3	15	120	Не соответствует по индексам БГКП и энтерококков	Опасная
	4	9	0	Соответствует	Чистая
	5	30	16	Не соответствует по индексам БГКП и энтерококков	Умеренно опасная
	<b>Почвы пастбищных участков</b>				
5	1	6	110	Не соответствует по индексу БГКП	Опасная
	2	0	0	Соответствует	Чистая
	3	8	0	Соответствует	Чистая
	4	18	20	Не соответствует по индексам БГКП и энтерококков	Умеренно опасная
	5	22	4	Не соответствует по индексу энтерококков	Умеренно опасная
6	1	2	120	Не соответствует по индексу БГКП	Опасная
	2	0	110	Не соответствует по индексу БГКП	Опасная
	3	40	180	Не соответствует по индексам БГКП и энтерококков	Опасная
	4	50	800	Не соответствует по индексам БГКП и энтерококков	Опасная
	5	8	90	Не соответствует по индексу БГКП	Умеренно опасная
<b>Почвы дачных участков</b>					
7	1	8	7	Соответствует	Чистая
	2	13	110	Не соответствует по индексам БГКП и энтерококков	Опасная

Почвы лесных ландшафтов обследованы на двух участках площадью по 20 га каждый. Участок № 1 расположен в северо-западной части края (в Пожарском р-не) на отрогах хребта Стрельникова. Почвенный покров представлен буроземами, типичными и слабо оподзоленными, формирующимися под кедрово-широколиственным лесом. Количество БГКП и энтерококков в почвенных образцах с трех пробных площадок соответствует нормативному показателю для чистых почв, с двух других площадок превышает этот норматив по энтерококкам в 4, 12 и по БГКП в 10, 15 раз. Экстраполяция результатов по обоим микробиологическим индексам на весь участок показывает, что 20% почв соответствует категории загрязнения «опасная», 20% – категории «умеренно опасная» и 60% относится к категории «чистая». Участок № 2 расположен на западных отрогах хребта Синий в границах Черниговского р-на. Лесной полог состоит из дуба монгольского с примесью мелколиственных пород. Почвенный покров представлен сочетанием подзолисто-буроземных типичных и подзолисто-буроземных поверхностно-глеевых почв. Экологическое состояние почв по обоим микробиологическим индексам характеризуется категорией «чистая».

Участок № 3 (20 га) – многолетняя залежь в Михайловском р-не, в 3 км от с. Ивановка, заросшая рудиментарной злаково-разнотравной с куртинами полыни растительностью. Почвенный покров представлен обусловленным мезорельефом сочетанием лугово-бурых оподзоленных и лугово-перегнойных глееватых почв. В почвенных образцах с 4 пробных площадок БГКП отсутствуют, в одном образце их индекс превышает нормативное значение в 8 раз. Сходная картина наблюдается и по индексам энтерококков. Можно поэтому предполагать, что почвы на 80% залежной площади соответствуют категории «чистая», и на 20% относятся к категории «умеренно опасная» по обоим микробиологическим индексам. Залежный участок (№ 4) площадью 5 га расположен в Партизанском р-не на удалении около 1 км от п. Бровничи. Растительность представлена рудиментарной высокотравной разнотравно-злаковой ассоциацией. В почвенном покрове доминируют аллювиальные дерновые типич-

ные почвы. Почвы только одной пробной площадки характеризуются отсутствием БГКП. На остальных 4 площадках индексы БГКП превышают нормативные показатели в 1,6, 8, 12 и 15 раз. Энтерококки обнаружены во всех почвенных образцах. В почвах с трех пробных площадок их количества укладываются в нормативный диапазон, в двух остальных превышают его в 1,5–3,0 раза. Следовательно, 40% почв данного участка оцениваются категорией микробного загрязнения «опасная», 40% – категорией «умеренно опасная» и 20% относятся к категории «чистая».

Пастбищный участок (№ 5) площадью 6 га расположен в 2 км от п. Кировский Кировского р-на. Однородный почвенный покров представлен лугово-глеевыми почвами, развитыми под осоково-разнотравной растительностью. По количеству энтерококков и БГКП почвы на трех пробных площадках нормируются категорией «чистые». В почвах на двух площадках индексы энтерококков превышают нормативное значение в 1,8 и 2,2 раза, что нормирует их экологическое состояние как «умеренно опасные». Индексы БГКП также на двух площадках превышают норматив в 2 и 11 раз и соответствуют категориям биологического загрязнения «умеренно опасная» и «опасная». Второе пастбище (участок № 6) площадью 10 га расположено в Партизанском р-не и примыкает к с. Голубовка. Оно образовалось на ранее пахотных землях, которые в настоящее время покрыты высокотравной луговой растительностью. Почвенный покров представлен аллювиальными перегнойно-глеевыми типичными почвами. По индексу энтерококков почвы на трех пробных площадках соответствуют категории «чистая» и на двух «умеренно опасная» – содержание энтерококков превышает норматив в 4–5 раз. Количества БГКП нормируют почвы категориями «умеренно опасная» на одной и «опасная» на 4 пробных площадках: нормативные значения по данному показателю превышены в 9 и 11, 12, 18, 80 раз.

Почвы двух дачных огородов обследованы в Уссурийском р-не (участок № 7). На первом, заброшенном более 10 лет назад, индексы БГКП и энтерококков в почвах соответствуют допустимому уровню и нормируют их как «чистые». Возделываемые огородные почвы (пробная площадка 2) по количеству энтерококков соответствуют категории «умеренно опасная». Однако высокое содержание БГКП определяет категорию их экологического состояния как «опасное»: индекс БГКП превышает верхний нормативный предел в 11 раз.

Приведенные данные свидетельствуют о значительной неоднородности обследованных почв по содержанию энтерококков и БГКП. При этом варьирование этих показателей наблюдается как в пределах одного участка, так и между участками не только различных типов хозяйственного использования, но и между однотипными участками в зависимости от их локализации на территории края. Поскольку энтерококки и БГКП депонируются в почву с отходами жизнедеятельности диких и домашних теплокровных животных и человека, естественно связывать их присутствие в почвах именно с этими источниками. Наличие энтерококков всегда указывают на свежее фекальное загрязнение почв. Очаги бактериально загрязненных почв кедрово-широколиственного леса на северо-западе края (участок № 1) связаны с жизнедеятельностью дикой фауны, возможно, не вполне благополучной по состоянию кишечной микрофлоры. Бактериальная чистота лесных почв западных отрогов хребта Синий (участок № 2), скорее всего, объясняется отсутствием диких животных в хорошо освоенной центральной части края. Высокие индексы БГКП в почвах залежных участков могут быть унаследованными со времени их сельскохозяйственного использования, если почвы унавоживались без соблюдения правил санитарно-гигиенической безопасности. БГКП хорошо сохраняются во внешней среде [9] и в почве они долгое время остаются жизнеспособными. Повышенные индексы энтерококков в почвах залежи (участок № 4), граничащей с лесным массивом, могут быть связаны с заходом диких животных. Наиболее биологически загрязненными оказались почвы пастбища в юго-восточной части края (участок № 6), чему способствует как большое количество выпасаемых животных, так и более благоприятные для размножения этих микроорганизмов климатические условия – высокие летние температуры и повышенная влажность почв. Выпас животных на этом пастбище является риском их инфицирования, особенно молодняка. Повышенные индексы БГКП и, особенно, энтерококков в возделываемых почвах

дачных участков однозначно указывают на использование свежих фекалий в качестве удобрения. В чистом виде фекалии являются источником распространения желудочно-кишечных и глистных заболеваний, возбудители которых сохраняют жизнеспособность даже после сушивания или промораживания фекальной массы. Поэтому, чтобы избежать инфицирования, очень важно тщательно мыть огородную продукцию чистой водой, соблюдать гигиену приготовления пищи и правила личной гигиены.

**Заключение.** Выполненным исследованием по оценке экологического состояния почв лесных, залежных, пастбищных и дачных участков в Приморском крае по санитарно-гигиеническим показателям установлено отсутствие во всех обследованных почвах организмов эпидемической опасности – паразитологических показателей и патогенных бактерий, включая сальмонеллы. Бактерии группы кишечной палочки (БГКП) и энтерококки (фекальные стрептококки) обнаружены во многих проанализированных почвах. Обнаружены значительные различия качества почв по данным показателям, как между отдельными участками, так и в пределах одного участка. Состояние почв по индексам энтерококков и БГКП соответствует нормативным категориям «чистая», «умеренно опасная» и «опасная». Оценки экологического состояния почв следует проводить с учетом санитарно-гигиенических показателей. Эти же показатели следует учитывать при кадастровой оценке земель и определении их рыночной стоимости.

### Литература

1. ГОСТ 17.4.4.02-83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.
2. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон от 30.03.99 № 52-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 1999. № 14. Ст. 1650.
3. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2014 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 2015. 206 с.
4. Докучаев В.В. Об исследовании С.-Петербурга и его окрестностей // Соч.: в 7 т. М.: Изд-во АН СССР. 1953. Т. VII. С. 445–478.
5. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
6. МР ФЦ/4022 от 24.12.2004 г. Методы микробиологического контроля почвы.
7. МУК 4.2.796-99 Методы санитарно-паразитологических исследований.
8. СанПиН 2.1.7.1287-03 Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. М.: Минздрав РФ.
9. Алексеева С.М., Цыдыпов В.Ц. Изучение биологических характеристик патогенных микробов в период пребывания их в различных условиях среды // Вестник КрасГАУ. 2011. № 9. С. 205–208.

### ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF SOME SOILS IN PRIMORSKY KRAI ON SANITARY AND HYGIENIC INDICES

R.A. Makarevich, A.N. Kachur

Pacific Geographical Institute Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, mak@tigdvo.ru

**Summary.** *The soil state of the forest, long-unused, pasture and garden plots was assessed on the parasitological (cysts of pathogenic protozoans, eggs and viable larvae of helminthes) and microbiological indices. As for the parasitological indices and pathogenic bacteria including the salmonella, all the examined soils are standardized as “clean”. The bacteria of the coliform bacillus group and Enterococci were found out in soils on the strongly varying quantities. The state of soils on these indices complies with the standard categories “clean”, “moderately hazardous” and “hazardous”.*

**Keywords:** *soils, parasitological indicators, microbiological indicators, Primorskii Krai.*

## ВЛИЯНИЕ БИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРУ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА АБШЕРОНА

Ф.А. Манафова, К.М. Гасанова, Г.Г. Асланова

Институт почвоведения и агрохимии НАН Азербайджана, Баку, fidan-1000@rambler.ru

**Аннотация.** Любые условия или компоненты внешней среды (механические, физические, химические и биологические), оказывающие влияние на организмы и почву, называются экологическими факторами. Циркуляция веществ между растениями, животными, микроорганизмами и почвой составляют биологический круговорот.

**Ключевые слова:** Абшерон, структура почвенного покрова, экологические факторы, микроорганизмы.

Проблема связи структур объектов природы (форм и их соотношений) с их свойствами всегда была актуальной для всех наук. Особенно она актуальна для науки о почвах, которая нуждается в более детальных и современных картографических разработках по структуре почвенного покрова и ее экологической оценки. Для этой цели необходимо показать на карте естественную структуру почвенного покрова с учетом рельефа и экологических свойств.

**Объект и методы исследования:** Оценку экологической ситуации почв мы даем на примере структуры почвенного покрова Абшерона, который расположен на берегу Каспийского моря и охватывает юго-восточную оконечность Большого Кавказа. В геолого-геоморфологическом отношении и по характеру рельефа он делится на две части: 1) западную холмистую, предгорную; и 2) восточную равнинную. Площадь его составляет около 380 тыс. га. Основным на Абшероне является серо-бурый тип почв, отличающийся разнообразием по степени засоления, солонцеватости, гранулометрическому составу и мощности мелкоземистого слоя, что связано с пестротой почвообразующих пород. Гидрографическая сеть Абшерона развита очень слабо. Она представлена суходолами, выполняющими роль сброса ливневых вод. В пределах полуострова постоянно действующей водной артерией является только река Сумгаитчай. В пределах полуострова встречаются многочисленные соленые озера. Основным источником питания являются атмосферные осадки, а также стоки нефтепромысловых и грунтовых вод. Для Абшерона характерен климат умеренно теплых полупустынь и сухих степей с сухим летом. Растительный покров подразделяется на сухостепной, полупустынный и пустынный. Типичным вариантом сухостепной растительности является полынно-эфемеровая формация, которая приурочена к серо-бурым слабосолонцеватым почвам. Однако вследствие распашки развиваются вторичные эфемеровые сообщества. Изучение структур почвенного покрова (СПП) тесно сопряжено с исследованиями скульптуры рельефа земной поверхности, строения и структуры растительного покрова и биосферы в целом. Распашка и окультуривание на значительных площадях привели в ряде мест к исчезновению микроструктур ПП, к выравниванию свойств почвенного покрова.

В 1983 году М.Э. Салаевым, Р.А. Алиевой и Ч.М. Джафаровой была составлена сводная почвенная карта Абшерона (М1:100000). В связи с государственным законом о курортном строительстве, по развитию в широких масштабах озеленительных работ и расширению площадей под орошаемые субтропические культуры на Абшеронском полуострове, В.Г. Гасановым и Ч.С. Галандаровым в течение пяти лет (1984–1988 гг.) были проведены крупномасштабные географические и мелиоративные исследования. В результате этого авторы пришли к заключению, что на территории Абшеронского полуострова направление почвообразовательного процесса отвечает режиму, характерному для полупустынных ландшафтов и почвы здесь представлены серо-бурый типом. Результаты проведенных почвенно-мелиоративных исследований показали, что в своем географическом распространении серо-бурые почвы в условиях Абшеронского полуострова часто образуют высокую сложную комплексность с такыровидными и песчаными примитивными почвами или пятнами со-



лончаков, создавая крайне сложную мозаику в структуре почвенного покрова. Это значительно осложняет мелиоративное оздоровление почв объекта исследования. На основании проведенных комплексных исследований были составлены крупномасштабные (М 1:50000) почвенная карта и карта засоления Абшеронского полуострова с отражением необходимых почвенно-экологических условий.

И так, используя метод пластики рельефа, впервые предложенный В.Р. Волобуевым (1948) и в дальнейшем усовершенствованный И.Н. Степановым (2003), картографические материалы, разработанные М.Э. Салаевым (1983), В.Г. Гасановым (1988), а также методические указания, составленные Г.Ш. Мамедовым, Г.М. Гаджиевым и А.Б. Джафаровым, впервые для Абшерона были разработаны научные основы изучения структур почвенного покрова с учетом рельефа и геолого-геоморфологического строения, основанные на современных компьютерных технологиях. Методом пластики рельефа были выделены 11 типов структур почвенного покрова объекта исследования, определён их почвенный состав, физико-химические и биологические свойства. Показана их взаимосвязь, некоторые, из которых описаны в этой статье: 1) древовидный тип СПП предгорной части Абшерона; 2) радиально-округлый тип; 3) луковично-рассеивающий тип на юге Абшерона; 4) древовидно-дихотомический тип; 5) радиально-центростремительный тип; 6) радиально-центробежный тип; 7) древовидный тип СПП восточной части Абшерона [1–4, 8].

**Обсуждение результатов:** Основная роль в структурообразовании принадлежит биологическим факторам, т.е. растительности и организмам, населяющим почву. Растительность механически уплотняет почву и разделяет ее на комки и, самое главное, участвует в образовании гумуса. Современный рельеф Азербайджана пережил длительную историю развития и становления. Основными факторами его формирования были тектонические движения, извержения вулканов, древнее оледенение, имевшие место на Большом и Малом Кавказе. [5, 7, 9].

Каждый тип почвы имеет определенные закономерности протекающих в них биологических процессов, которые определяются, прежде всего, комплексом почвенных микроорганизмов (аэробных и анаэробных), почвенных ферментов. Каждому типу почв характерны значения рН, окислительно-восстановительные условия, содержание и свойства гумуса, содержание растворимых и нерастворимых органических и неорганических веществ, которые в свою очередь определяются почвенно-климатическими особенностями, а также силой и скоростью антропогенного воздействия. Решающее значение в поддержании гомеостатического состояния почвы имеет жизнедеятельность живых организмов [13]. Изменение растительных остатков в почве и превращение их в гумусовые вещества – результат совокупной деятельности ассоциаций микроорганизмов, обладающих разносторонними биохимическими функциями. Деятельность микроорганизмов является обязательным звеном в биологическом круговороте вещества и энергии веществ в почве. Структурообразующими свойствами обладают гумусовые вещества, которые образуются в результате разложения растительных остатков микроорганизмами. В почвах, богатых микроорганизмами, особенно актиномицетами, происходит соединение при помощи бактериальной слизи не только первичных, но и вторичных частиц, вследствие чего образуются агрегаты более высокого порядка [12, 14, 17].

Принимая во внимание роль микробных сообществ в круговороте вещества и энергии в почве, нами впервые для различных почвенных разностей СПП Абшерона в рамках исследований их эколого-биологических особенностей, изучена численность некоторых групп микроорганизмов в почве: *гетеротрофных (органотрофных)*, использующих органические соединения в почве в качестве источника углерода и энергии; *целлюлозоразлагающих*. Целлюлоза – главная составная часть клеточных стенок растений. Разложение этой группой клетчатки осуществляется с участием фермента – целлюлазы. Образовавшиеся соединения микроорганизмы используют в качестве источника углерода и энергетического материала; *аммонифицирующие* – эта группа микроорганизмов участвует в круговороте азота – минерализации органических форм азота, которые становятся доступными для растительных сообществ. Анализ полученных данных свидетельствуют о широком варьировании численности различных групп микроорганизмов в почвенных разностях в зависимости от типа СПП. Наиболее высокая численность жизнеспособ-

ных гетеротрофных микроорганизмов, а также целлюлозоразлагающих и аммонифицирующих, обнаружена в радиально-округлой, луковично-собирающей и древовидной типах вулканического происхождения и древовидной СПП [14, 15, 17].

Т а б л и ц а 1

**Сравнительная оценка микробиологической активности почвенных разностей СПП Абшерона**

№№	Наименование СПП	Средний балл бонитета	Содержание гумуса, %	Численность микроорганизмов*		
				Сапрофиты, млн. кл/г почвы	Целлюлозо-разлагающие, тыс./1г почвы	Аммонифицирующие, млн.г почвы
1	Луковично-собирающий	85	0,39–1,79	$5,1-5,7 \cdot 10^7$	88,3–90,3	$1,6-2,9 \cdot 10^5$
2	Радиально-округлый	76	0,20–1,14	$4,5-4,7 \cdot 10^7$	85,3–87,9	$1,4-2,7 \cdot 10^5$
3	Древовидно-концентрический	69	0,95–1,73	$2,4-2,7 \cdot 10^7$	76,3–78,1	$1,2-2,5 \cdot 10^5$
4	Древовидный вулканического происхождения	68	0,70–1,48	$2,5-2,7 \cdot 10^7$	77,5–79,2	$1,5-1,6 \cdot 10^5$
5	Древовидный	65	0,38–1,73	$3,0-3,8 \cdot 10^7$	71,3–75,7	$1,0-2,8 \cdot 10^5$
6	Радиально-центростремительный	54	0,31–1,07	$1,2-1,6 \cdot 10^6$	69,6–70,5	$0,6-0,9 \cdot 10^4$
7	Радиально-центробежный	54	0,27–1,09	$1,1-1,4 \cdot 10^6$	69,7–70,3	$0,8-0,9 \cdot 10^4$
8	Древовидно-дихотомический	44	0,23–1,27	$2,1-2,2 \cdot 10^6$	65,2–68,3	$0,5-0,6 \cdot 10^3$
9	Луковично-рассеивающий	42	0,40–0,74	$2,5-2,7 \cdot 10^6$	66,2–69,8	$1,5-2,4 \cdot 10^5$
10	Древовидно-радиальный	41	0,27–1,09	$3,5-4,0 \cdot 10^7$	65,3–66,1	$1,2-1,8 \cdot 10^5$
11	Древовидно-равнинной части	31	0,21–1,90	$1,5-1,7 \cdot 10^5$	44,3–45,1	$0,3-0,4 \cdot 10^3$

Выявлена одна определенная закономерность: численность всех групп микроорганизмов в определенной степени коррелирует со средним баллом бонитета СПП. Численность всех исследуемых микроорганизмов в почвенных разностях вышеуказанных СПП была наиболее высокой. Это в основном серо-коричневые обыкновенные, серо-коричневые обыкновенные гипсоносные, серо-бурые глубинно-засоленные подтипы почв. Наиболее низкой численностью микроорганизмов характеризовались почвенные разности СПП древовидной равнинной части Абшерона: серо-бурые слаборазвитые дефилированные; серо-бурые слаборазвитые солончаковатые орошаемые; серо-бурые примитивные почвы; дюнные пески и другие. Анализ показывает, что широкое варьирование микробиологической активности определяется физико-химическими параметрами самих почвенных разностей, в том числе степенью засоления, содержанием гумуса, емкостью поглощения и др.. Как правило, почвы незасоленные, с высоким содержанием гумуса, высокой степенью емкости поглощения отличаются сравнительно высокими активностями всех изученных нами групп микроорганизмов. Высокая численность микроорганизмов и их активность в серо-коричневых и серо-бурых подтипах почв различных типах СПП является показателем их высокой биологической активности и способность их поддерживать круговорот органических и минеральных компонентов в этих почвенных разностях [5–7, 9]. Почвенные разности СПП, характеризующиеся относительно высокими баллами бонитета, характеризовались также и высокими биологическими активностями. А это еще раз подтверждает известную истину – в почве как в единой системе в зависимости от условий генезиса, факторов окружающей среды имеют место различные скорости превращения и круговорота минеральных и органических компонентов, с участием комплекса почвенных микроорганизмов и почвенных ферментов, которые

определяют, в конечном итоге их актуальные агропроизводственные свойства, выражающиеся через соответствующие баллы бонитета. Путем анализа актуальной биологической активности различных СПП в зависимости от физико-химических свойств почв, возможно, разработать научные основы регулирования агропроизводственных свойств с целью их рационального сельскохозяйственного использования при минимуме производственных затрат.

**Заключение.** Экологические исследования проводятся для получения качественных и количественных показателей структуры почвенного покрова Абшерона. Для этого детально была изучена структура почвенного покрова объекта исследования, систематизирована по отдельным структурам и соответствующим им почвам. Определены экологические параметры почвенного покрова Абшерона, т.е. их почвенное содержание, характерные для них физико-химические и биологические свойства. Показана их взаимосвязь.

Осуществлена экобиологическая оценка структур почвенного покрова и выявлены различия между СПП, физико-химическими свойствами почв и их биологической активностью – общей численностью различных групп микроорганизмов (сапрофиты, аммонифицирующие, азотофиксирующие бактерии).

### Литература

1. Салаев М.Э. Диагностика и классификация почв Азербайджана. Баку: Элм, 1991. С. 44.
2. Салаев М.Э., Алиева Р.А., Джафарова Ч.М. Объяснительная записка к почвенной карте Абшерона. Баку, 1983. С. 3–10.
3. Салаев М.Э., Гасанов В.Г., Галандаров Ч.С. Условия формирования и основные Диагностические признаки серо-бурых избыточно увлажненных почв Абшеронского полуострова // Известия АН Азерб ССР (сер. биол. наук). Баку, 1988. № 3. С. 33–38.
4. Гасанов В.Г., Галандаров Ч.С. О физико-химических свойствах орошаемых серо-бурых почв Абшеронского полуострова // Вести с/х науки. 1990. № 1. С. 83–86.
5. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова мира. М.: Мысль, 1984. 234 с.
6. Волобуев В.Р. Экология почв. Баку, 1963. 259 с.
7. Волобуев В.Р., Салаев М.М., Костюченко Ю.И. Опыт агропроизводственной группировки и качественной оценки почв Азербайджанской ССР // Изв. АН АзССР. Сер. биол. наук. 1967. № 1. С. 77–91.
8. Фридланд В.М. Опыт почвенно-географического разделения горных систем СССР // Проблемы географии, генезиса и классификации почв. М.: Наука, 1986. С. 54–68.
9. Мамедов Г.Ш., Халилов М.И., Экология и окружающая среда. Баку: Элм, 2004. 504 с.
10. Степанов И.Н. Пространство и время в науке о почвах. М.: Наука, 2003. 176 с.
11. Степанов И.Н. Формы в мире почв. М.: Наука 1986. С. 54.
12. Исмаилов Н.М., Наджафова С.И., Удовиченко Т. Устойчивость различных типов почв вдоль СМЭТ к нефтяному загрязнению и микробиологический фактор в их самоочищении // Матер. конф. «Устойчивость почв к естественным антропогенным воздействиям». М., 2002. С. 261–262.
13. Мишустин Е.Н. Лабильная часть почвенной макроструктуры. // Почвоведение. 1945. № 2. С. 78–85.
14. Манафова Ф.А. О контрастности почвенного покрова Абшерона // Аграрная наука Азербайджана. 2004. № 1-2. С. 383–387.
15. Манафова Ф.А. Изменение параметров строения структуры почвенного покрова Абшеронского п-ва в зависимости от антропогенного воздействия // Мат. Всерос.науч. конф. Закономерности изменения почв при антропогенном воздействии, регулировании состава и функций почвен. покрова. М., 2011. С. 157–163.
16. Манафова Ф.А. Экологическая оценка структур почвенного покрова Абшерона: автореф. дис. ... канд. биол. наук. С. 7.
17. Манафова Ф.А. Исследование структур почвенного покрова Абшерона методом пластики рельефа и их микробиологическая активность. “Ekolojiya:təbiət və səmiiyyət problemləri” Beynəlx.elmi konf. Bakı, 8-9 noyabr, 2007 il, s.

## **INFLUENCE OF BIOECOLOGICAL FACTORS ON THE STRUCTURE OF THE ABSHERON SOIL COVER**

F.A. Manafova, K.M. Hasanova, G.H. Aslanova

Institute of Soil Science and Agrochemistry of NASA, Azerbaijan, Baku, fidan-1000@rambler.ru

**Summary.** *Environmental studies are conducted to obtain qualitative and quantitative indicators of the structure of the Absheron soil cover. For this purpose, the structure of the soil cover of the research object was studied in detail, systematized according to individual structures and the corresponding soils. The ecological parameters of the Absheron soil cover were determined their soil content, their physical-chemical and biological properties. Their interrelation is shown.*

*Ecobiological assessment of soil cover patterns was carried out, and the difference between SPP, physical-chemical properties of soils and their biological activity-the total number of different groups of microorganisms (saprophytes, ammonifying, nitrogen-fixing bacteria), various groups of soil enzymes and intensity of CO<sub>2</sub> emission*

**Keywords:** *Absheron, the structure of the soil cover, ecological factors.*

## ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ САДОВЫХ АГРОЦЕНОЗОВ Г. ЧЕЛЯБИНСКА

Л.М. Маркова

Челябинский государственный университет, Челябинск, ivolga-354@ya.ru

**Аннотация.** В работе приводятся данные исследования почв садовых товариществ г. Челябинска, находящихся в непосредственной близости от предприятий черной и цветной металлургии. Сопоставляются результаты анализа пылевых выпадений с концентрациями токсичных компонентов в почвах. Делается вывод о влиянии минеральной части атмосферных осадков на физико-химические свойства почв.

**Ключевые слова:** геохимические исследования, экологическая оценка, физические и химические свойства почв, тяжелые металлы.

В настоящее время ландшафтные исследования не ограничиваются изучением природных компонентов. Все большее значение имеет антропогенная составляющая, оказывающая большое влияние на вещественно-энергетические потоки внутри системы.

Коллективные сады – садовые некоммерческие товарищества (СНТ) играют большую роль в жизни крупных городов. Они имеют огромное значение для обеспечения населения продовольствием и являются местом отдыха горожан. Город Челябинск является крупным промышленным центром, на территории которого находятся крупные металлургические предприятия. Исторически сложилось, что часть садовых товариществ находится в непосредственной близости от промышленных предприятий и подвержены воздействию их выбросов.

Цель данной работы – оценка степени изменения физико-химических свойств и химического состава почв коллективных садов г. Челябинска под влиянием выбросов промышленных предприятий. Для оценки пылевых поступлений на поверхность почвы и химического состава пыли использовался метод снеговой съемки.

**Объектом исследования** является территории садовых товариществ, расположенных в различных частях города. В восточной части города исследованы садовые товарищества «Тракторосад-1», «Тракторосад-2», «Дружба-ЧТЗ» общей площадью 259 га. В северной – территории СНТ «Дружба» и СНТ «Металлург», суммарная площадь которых составляет 327 га. В западной – СНТ «Искра», площадь которого составляет 119 га. Все СНТ в разной степени подвержены выбросам промышленных предприятий. К юго-западу и северо-западу от территории СНТ «Тракторосад-1 и 2», «Дружба-ЧТЗ» находится промышленная зона двух крупнейших предприятий черной металлургии: металлургического и электрометаллургического комбинатов, в 100 м восточнее размещена городская теплоэлектроцентраль (ТЭЦ-3). СНТ «Металлург» и «Дружба» расположены непосредственно за границей промзоны ЧМК, а СНТ «Искра» – в 3 км к востоку от цинкового завода.

Челябинский металлургический комбинат (компания «Мечел») специализируется на выпуске чугуна, стального проката, полуфабрикатов стального проката из углеродистой и специальной стали. Электрометаллургический комбинат производит ферросплавную продукцию: феррохром, ферросилиций, ферромарганец и др. Челябинский цинковый завод – это ключевое предприятие региона по производству металлического цинка. Кроме того, ЧЦЗ является производителем металлического кадмия, индия, сульфата цинка и серной кислоты.

Основным видом деятельности ТЭЦ-3 является выработка тепловой и электрической энергии с последующей передачей ее в тепловые и электрические сети ОАО «Челябэнерго». Ведущим топливом является природный газ, резервным – топливный мазут.

**Методы исследования.** Оценка вещественных потоков, поступающих с газопылевыми выбросами, осуществлялась с помощью метода снеговой съемки. Отбор проб снега производился в соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке загрязнения атмосферы»

ного воздуха населенных мест» с каждой исследуемой территории. Пробы снега отбирались методом конверта в конце зимнего периода. Отбор почвенных проб проводился по регулярной сети преимущественно с неиспользуемых в настоящее время участков. Всего было отобрано и проанализировано 17 снеговых проб и 74 почвенных пробы.

Подготовка и анализ образцов производились в лабораториях факультета экологии Челябинского государственного университета. Снеговые пробы фильтровались, осадок высушивался и взвешивался, по его количеству рассчитывалось поступление пыли на единицу площади садовых товариществ. Для оценки токсичности пыли производилось ее разложение в минеральных кислотах с последующим анализом жидкости методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе Квант-2М. Показатель кислотности среды (рН) определялся потенциометрическим методом.

Химическое разложение почвенных проб производилось в соответствии с «Методическими рекомендациями по определению тяжелых металлов в почвах и продукции растениеводства». Почвенные вытяжки анализировались атомно-абсорбционным методом. Были определены концентрации приоритетных для Челябинского региона металлов-загрязнителей: цинка, кадмия, свинца, никеля, меди, марганца. Из общих агрохимических показателей определялись рН водной вытяжки и содержание органического вещества (гумуса). Полученные результаты обрабатывались с использованием статистических методов в программе Microsoft Excel.

**Обсуждение результатов.** 1. *Влияние щелочных осадков на физико-химические свойства почв (рН водной вытяжки).* Одной из основных физико-химических характеристик почвы является ее актуальная и обменная кислотность, которая зависит не только от типа почвообразования и геоморфологических условий, но и от состава и свойств атмосферных осадков. Для территории промышленного освоения Уральского региона для осадков и талых вод снегового покрова характерна слабощелочная, щелочная и сильнощелочная реакция по сравнению с незагрязненными осадками, величина рН которых составляет 5,6. [1].

Как показало исследование, рН снеговых проб, отобранных на территориях садов, имеет средние значения в пределах 7,19–8,40, максимальные достигают 9,40. Наиболее щелочными оказались пробы снега в северной части города, что можно объяснить близостью предприятия черной металлургии полного цикла (ЧМК). Напротив, пробы, отобранные на территории садов западной части города, характеризуются более нейтральными значениями водородного показателя (среднее арифметическое рН составляет 7,19)

Та же закономерность прослеживается и для почв, с той разницей, что здесь нет такого явно выраженного различия между значениями рН на исследуемых площадях. Как видно из таблицы 1, рН почвенных проб находится в основном в слабощелочном диапазоне, несмотря на различия в их генезисе (СНТ северной части города находятся на границе Каштакского островного бора, где в незагрязненном состоянии почвы должны иметь более кислую реакцию). Наибольшими значениями рН характеризуются почвы садовых товариществ северной части города, наименьшие наблюдаются в наиболее удаленной от предприятий черной металлургии западной части города.

Т а б л и ц а 1

Показатели кислотности почв садовых товариществ г. Челябинска

Местоположение	рН вытяжки, ед				
	Мин.	Макс.	Мода	Сред. арифм.	Ст. откл.
СНТ восточной части города	7,12	7,91	7,54	7,56	0,16
СНТ северной части города	7,10	8,06	7,62	7,54	0,21
СНТ западной части города	6,86	7,46	7,22	7,19	0,16

Согласно И.В. Синявскому [2], в верхних горизонтах зональных почв значение водородного показателя составляет 6,5. Таким образом, за время существования садовых товариществ произошло подщелачивание почв, что связано в большей степени с промышленными выбросами предприятий черной металлургии.

2. *Изменение концентраций тяжелых металлов в почвах садов под влиянием пылевых выпадения.* Согласно результатам исследований проб снега, удельное поступление пыли на поверхность почвы составляет для СНТ северной части города в среднем 1,33 кг/га в сутки, что превосходит фоновое значение 0,15 кг/га в 9 раз. Для СНТ восточной части Челябинска этот показатель составляет в среднем 0,99 кг/га в сутки (превышение фона в 7 раз); для СНТ западной части города – 0,32 кг/га в сутки (фоновое значение превышено в 2 раза). Таким образом, территория в северной части города наиболее подвержена воздействию пылевых выбросов. Напротив, концентрации металлов выше в пробах, отобранных на территории СНТ западной части города (Таб.2). Исключение составляет марганец, содержание которого выше в пыли северного и восточного участков.

Более объективным показателем уровня загрязнения, является удельное поступление металлов на единицу площади, поскольку здесь учитывается общее количество пыли и ее токсичность. Как видно из рисунка 1, на поверхность почвы СНТ, находящихся в восточной части города, поступает больше свинца, меди, никеля; по марганцу лидируют северные СНТ; а по цинку и кадмию – западные.

Таблица 2

Концентрации тяжелых металлов в пыли снега, мг/кг

№ п/п	Географическое положение		Pb	Zn	Cd	Ni	Mn	Cu
1	СНТ северной части города	min	77,0	475,9	3,9	31,7	1514,4	35,3
		max	576,9	4878,8	24,3	169,2	8998,3	217,3
		ср. арифм.	237,6	1479,9	10,4	86,8	4954,2	101,4
2	СНТ восточной части города	min	256,1	1738,1	9,7	58,5	3748,09	134,9
		max	485,0	2550,4	13,6	121,0	6912,1	257,1
		ср. арифм.	365,7	1997,6	11,5	76,3	5097,3	191,9
3	СНТ западной части города	min	597,5	4597,7	35,9	89,1	2018,0	297,8
		max	1516,4	10031,0	111,6	144,6	3014,7	542,1
		ср. арифм.	994,5	6651,6	65,7	116,3	2462,6	396,8

Результаты исследования почв садовых товариществ представлены в табл. 3–5. Из них можно сделать вывод, что наибольшими значениями средневзвешенных концентраций характеризуются СНТ восточной части города, где наблюдается превышение ОДК по цинку, никелю и свинцу. Высокие концентрации никеля в почвах плохо согласуются с представленными выше результатами снеговой съемки. В данном случае источником никеля в почвах являются выходы ультрабазитов. Это подтверждается наличием отрицательной корреляционной связи между содержанием гумуса и концентрацией никеля в пределах исследуемого участка (коэффициент корреляции –0,52).

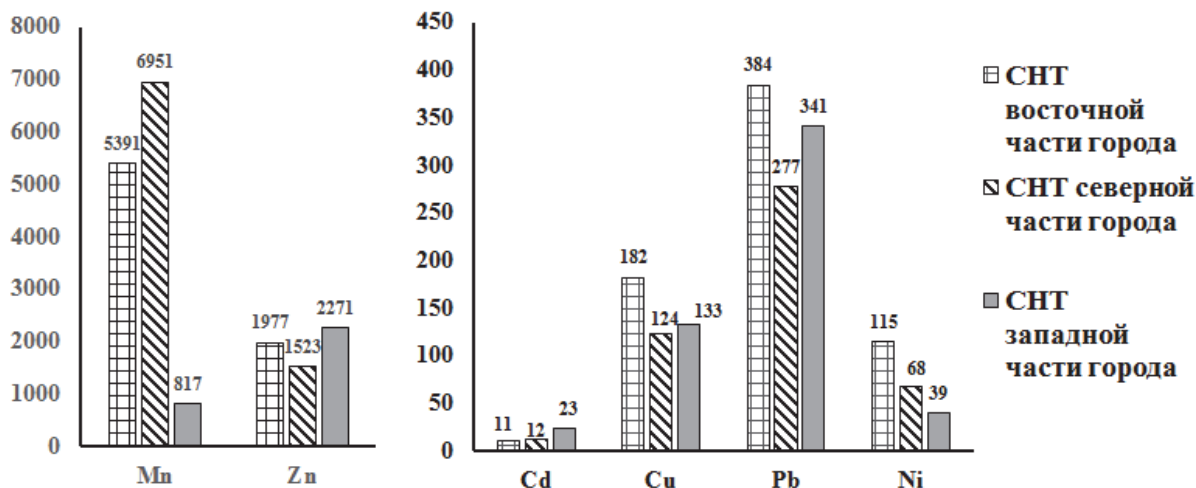


Рис. 1. Удельное поступление тяжелых металлов на поверхность почвы, мг/га в сутки

Т а б л и ц а 3

## Содержание тяжелых металлов в почвах садовых товариществ восточной части города

Компонент	Содержание, мг/кг				Фоновое содержание, мг/кг по [3] и [4]	ОДК <sup>1</sup> [5]/ПДК <sup>2</sup> [6] элементов в почве, мг/кг
	min	max	Ср. арифм.	Ст. откл.		
Pb	21,9	<b>168,9</b>	48,3	27,8	35,0	130 <sup>1</sup>
Zn	105,2	<b>662,0</b>	<b>245,3</b>	126,0	73,0	220 <sup>1</sup>
Cd	0,28	1,96	0,98	0,39	0,13	2 <sup>1</sup>
Ni	19,0	<b>349,6</b>	64,4	92,5	59,0	80 <sup>1</sup>
Mn	277,6	1082,4	623,3	224,1	1026,0	1500 <sup>2</sup>
Cu	17,6	105,2	44,4	18,6	45,0	132 <sup>1</sup>

Т а б л и ц а 4

## Содержание тяжелых металлов в почвах садовых товариществ северной части города

Компонент	Содержание, мг/кг				Фоновое содержание, мг/кг по [3] и [4]	ОДК <sup>1</sup> [5]/ПДК <sup>2</sup> [6] элементов в почве, мг/кг
	min	max	Ср. арифм.	Ст. откл.		
Pb	19,5	101,7	33,8	15,9	35,0	130 <sup>1</sup>
Zn	72,9	<b>421,4</b>	175,5	83,7	73,0	220 <sup>1</sup>
Cd	0,38	<b>2,21</b>	0,74	0,39	0,13	2 <sup>1</sup>
Ni	14,3	37,2	22,0	5,1	59,0	80 <sup>1</sup>
Mn	354,2	1015,9	490,7	108,9	1026,0	1500 <sup>2</sup>
Cu	18,3	<b>179,5</b>	35,4	25,9	45,0	132 <sup>1</sup>

Т а б л и ц а 5

## Содержание тяжелых металлов в почвах садовых товариществ западной части города

Компонент	Содержание, мг/кг				Фоновое содержание, мг/кг по [3] и [4]	ОДК <sup>1</sup> [5]/ПДК <sup>2</sup> [6] элементов в почве, мг/кг
	min	max	Ср. арифм.	Ст. откл.		
Pb	27,7	87,7	44,4	18,0	35,0	130 <sup>1</sup>
Zn	60,6	<b>509,9</b>	<b>301,7</b>	130,6	73,0	220 <sup>1</sup>
Cd	0,31	1,60	0,84	0,49	0,13	2 <sup>1</sup>
Ni	18,3	30,8	25,6	4,1	59,0	80 <sup>1</sup>
Mn	169,6	346,1	252,9	54,2	1026,0	1500 <sup>2</sup>
Cu	22,1	78,8	35,1	16,7	45,0	132 <sup>1</sup>

По всем трем площадям фоновое значение и ОДК превышено по цинку; по кадмию наблюдается превышение фонового значения в несколько раз. Это обусловлено выбросами функционирующего с середины 30-х гг. Челябинского цинкового завода. В настоящее время предприятие модернизировало систему очистки, построив сернокислотный цех и внедряя технологии обеспыливания. Несмотря на это, ЧЦЗ служит источником выбросов таких опасных компонентов, как Zn, Pb, As, Hg, Cd.

Концентрации марганца во всех пробах не превышают фоновое значение и ОДК, а в некоторых случаях заметно меньше фона. Это можно объяснить невысоким содержанием данного элемента в почвообразующих породах на исследуемых территориях.

**Выводы.** Анализ полученных результатов позволил выявить следующие закономерности:

1. За счет минеральной составляющей атмосферных осадков происходит увеличение водородного показателя рН, который в настоящее время превышает фоновое значение в среднем на единицу.

2. Масса пыли, поступающей на территории садовых товариществ, находящихся в непосредственной близости от предприятий черной металлургии, превышает фон в 7–9 раз. Пыль, поступающая на западный участок, более рафинированная и токсичная, что можно объяснить близостью к ЧЦЗ и нахождением в периферийной зоне загрязнения.

3. За время функционирования предприятий в почвах накопилось значительное количество цинка и кадмия, в отдельных пробах в больших концентрациях присутствует свинец. Вы-



сокое содержание никеля в почвах СНТ восточной части города может быть связано с природной геохимической аномалией.

### Литература

1. Абдуллаев С.М., Грачева И.В., Сапельцева Ю.А., Агеев С.Г. К вопросу о локальном и региональном уровне загрязнения атмосферы // Вестник Челябинского государственного университета. Серия Экология. 2010. Вып. 4, № 8. С. 5–10.
2. Синявский И.В. Агрохимические и экологические аспекты плодородия черноземов лесостепного Зауралья. Челябинск: ЧГАУ, 2001. 278 с.
3. Картографирование загрязнения токсичными металлами почвенно-растительного покрова г. Челябинска / отв. исп. В.Г. Граковский. М.: НТЦ Экология АН СССР, 1992. 132 с.
4. Проведение обследования промышленных центров Челябинской области и г. Челябинска и Кыштыма с целью выявления характера, масштаба и уровня загрязнения почвы тяжелыми металлами: отчет о НИР / отв. исп. Л.Н. Исаева. Челябинск, 1993. 36 с.
5. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2511-09 «Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве».
6. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М.: Госстандарт, 1983.

### ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTAMINATION OF GARDEN SOILS OF AGRICULTURAL LANDS IN CHELYABINSK

L.M. Markova

Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, ivolga-354@ya.ru

**Summary.** *In the article data of research of soils of garden associations of the city of Chelyabinsk, which are in immediate proximity from the enterprises of ferrous and nonferrous metallurgy, are given. The results of an analysis of dust fallouts with concentrations of toxic components in soils are compared. A conclusion is drawn on the effect of the mineral part of atmospheric precipitation on the physico-chemical properties of soils.*

**Keywords:** *geochemical research, environmental assessment, physical and chemical properties of soils, heavy metals.*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В РЕЖИМЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ В ЛУГОВЫЕ УГОДЬЯ

Л.В. Мартынова

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия, lugved@list.ru

**Аннотация.** На опытных участках пригорода г. Якутска с мерзлотно-пойменными слоистыми почвами используемые 11-летние залежи обладают высокой продукцией до 5254 г/кв.м. год выхода биомассы. Подземная продукция составляет 4640 г/кв. м. приход и убыль органической массы корней 46% – 2142 г/кв. м. Приход органической массы корней 5,7 раз преобладает прирост надземного растительного вещества, коэффициент разложения подстилки 1,6. Доля фитомассы в агроценозе составила 6%, подстилки 5% от всего запаса растительного вещества.

**Ключевые слова:** залежи, биомасса, масса корней.

Первый пример стадий развития растительности кормовой залежи на черноземах степной зоны, описаны академиком В.Р. Вильямсом (1939) с учетом почвообразовательного процесса. Тюрин, 1960, отметил ежегодное поступление остатков корней, вместе с надземным опадом, что является главным первичным источником органического вещества, у многолетней целинной или залежной и культурной травянистой растительности до 10-15 т/га. По первичной продуктивности обеспечиваются энергетические ресурсы функционирования экосистемы (Базилевич, 1993). Так чистая первичная продукция подземного яруса степного сообщества есть система жизнеобеспечения и хранилище биоразнообразия в луговых степях, и достигает 20 т/га в год (Титлянова, 2002).

Накопление корней растений повышает буферность и влагоемкости почвы, в долголетних фитоценозах 62-64 годов (Кутузова, 2013). В лесной зоне и северной лесостепи, где на суходольных лугах преобладают малогумусные почвы, накопление подземной массы за 14 лет пользования пастбищем 14–21 т/га СВ, при заповедовании 47 т/га в 3,3–4,2 раза превышает урожайность надземной массы (Кутузова, 2014). За 14 лет наступает период, равновесного состояния прихода и убыли органического вещества, с улучшенными агрофизическими свойствами почв.

В зоне рискованного земледелия Центральной Якутии, заброшенные пашни составили 36 тыс. га или 24% от всей площади действующих пашен, поэтому самозаращение залежей, накопление органической массы приобретает актуальное значение. В залежи – первого-третьего года, происходит в основном семенное возобновление сорного вида *Artemisia jascutica* и частично вегетативно размножающихся многолетних злаковых видов трав. На опытных участках пригорода г. Якутска с мерзлотно-пойменными слоистыми почвами при соблюдении режима сенокос, переход залежных земель в луговые происходит, начиная с пятого-седьмого года использования пырейно-китайсковолооснецовый травостой (*Eletrigio-Leymetum chinensis*). Выход массы пригодной для корма – 1,0–1,6 т/га и поступлением подземной органической продукции 11–13 т/га по циклам учета биомассы.

**Объекты и методы исследований.** Объектом является 11-летние надпойменные залежи, пырейно-китайсковолооснецовый травостой (*Eletrigio-Leymetum chinensis*). Исходный тип растительности в начальный период с полынной (1-го года) и полынно-пырейной (3-го года) растительностью, с участием востреца ложнопырейного. Почвы мерзлотно-пойменных-слоистых почвогрунтов [3]. Сумма солей в почве не более 0,057%, содержание гумуса 2%, сумма обменных оснований 13,7 мг-экв/100 г. Содержание подвижного фосфора среднее 120 мг/кг, обменного калия высокое 124 мг/кг в слое почвы 0–10 см, в слое почвы 10–20 и 20–30 см низкое 80–60 мг/кг.

Климат г. Якутска и его окрестностей резко континентальный и засушливый с коротким относительно жарким и засушливым летом. Вегетационный период в среднем 145 дней, количество осадков 184 мм. При переходе температуры воздуха более 10°C – количество осадков до 130 мм. Наиболее жаркий период с начала июля по середину августа, в этот период среднесуточная температура более 19°C – осадков до 103 мм, сумма активных температур ( $\Sigma t > 10^\circ\text{C}$ ) 1834°C (табл. 1).

Определение биологической продуктивности залежи проводилось в 2014–2015 гг. В структуре надземного растительного вещества выделяли фитомассу, проводили укос надземного растительного вещества. Отбор запаса ветоши (отмершие части растения, D) и подстилки (неразложившиеся и полуразложившиеся части растений, лежащие на почве, L) проводили в 5-кратной повторности в площадках размером 0,25 кв. м. Одновременно учитывали подземное растительное вещество (R) до глубины 30 см, методом монолитов в 5-кратной повторности Титлянова (1971). Почвенные монолиты отмывали по слоям 0–10, 10–20 и 20–40 см на ситах диаметром 0,25 мм и отделяли подземные части растений. В отмытой массе определяли долю живых и мертвых корней, корневищ и узлов кущения, *полуразложившиеся* остатки органической массы [5].

**Результаты исследований.** За 11 лет залежи надпойменных террас Центральной Якутии формируется растительность с доминированием в составе 64% пырея ползучего, 21–20% мятлика трансбайкальского, остролодочника шишковидного.

Т а б л и ц а 1

**Видовой состав растений залежи, % СВ (Н1В1)**

Виды растений	13.08.2014	12.05.2015	11.06.	20.07.	11.08.
Мятлик трансбайкальс	35,4	100	<b>20,7</b>	10,4	11,8
Вострец ложнопрыный	25,1		12,2	7,4	12,6
Пырей ползучий	20,7		37,9	<b>64,1</b>	50,7
Разнотравье	18,8		17,2	1,7	4,9
Остролодочник шишковидный			12,0	16,4	<b>20,0</b>

Т а б л и ц а 2

**Содержание органического вещества залежи, г/кв. м**

Дата (t, t+1) t	Надземная фитомасса в г/1 кв. м	Прирост надземной фитомассы в г/1 кв. м	Приход ветоши $\Delta(t, t+1)В$ в г/1 кв. м
13.08.14 г.	101,6		
		17,6	8,8
12.05.15 г.	8,8		
		38,4	24,0
11.06.	23,2		
		74,4	10,8
20.07.	87,6		
		97,6	12,0
11.08.	85,6		
<b>Сумма</b>	<b>306,8</b>	<b>228,0</b>	<b>55,6</b>

Подсчет прироста надземной фитомассы: (по формуле  $\Delta(t, t+1)Н = Н_{t+1} - Н_t + \Delta(t, t+1)В$ ).

Выход биомассы залежи пригодной для корма составляет 306,8 г/кв.м., наибольший прирост растительного вещества в поздний летний период 97,6 г/кв.м. Приход ветоши на залежи 19–26 г/кв. м всего 94 г/кв. м и составляет 30% от надземной фитомассы за весь период учета. Убыль подстилки за весь период 102 г/кв. м или 38% от суммы массы подстилки за весь период учета.

Таблица 3

## Содержание органического вещества залежи, г/кв. м

Дата (t, t+1) t	Ветошь	Приход ветоши, в г/ 1 кв.м		Приход подстилки $\Delta\Pi$ (t, t+1)	Приход подстилки, в г на 1 кв.м				Убыль по подстилке $\Delta\Pi_{\text{Pr}}$	
		$\Delta(t, t+1)V$			Подстилка $\Pi t$	Подстилка после разложения $\Pi^{\text{n}} t+1$	Приход подстилки $\Delta(t, t+1)\Pi$			$\Delta\Pi^{\text{x}}$
		V	$V^{\text{x}}$				$\Delta(t, t+1)\Pi$	$\Delta\Pi^{\text{x}}$		
13.08.14г	3,6				66,4					
		8,8	18,8	13,6		64,8	13,6	60,0	1,6	
12.05.15г	8,8				124,8					
		24,0	25,6	22,8		26,0	22,8	-6,8	98,8	
11.06	11,6				19,2					
		10,8	23,6	29,6		18,8	29,6	20,4	0,4	
20.07	5,6				39,2					
		12,0	25,6	23,2		37,6	23,2	-18,0	1,6	
11.08	8,0				19,6					
<b>Всего</b>	<b>37,6</b>	<b>55,6</b>	<b>93,6</b>	<b>89,6</b>	<b>269,2</b>	<b>147,2</b>	<b>89,2</b>	<b>55,6</b>	<b>102,4</b>	

Примечание: приход ветоши  $V^{\text{x}} = V_{t+1} - V_t + \Delta(t, t+1)\Pi$ ; приход подстилки  $\Delta(t, t+1)\Pi^{\text{x}} = \Pi_{t+1} - \Pi^{\text{n}} t+1$ ; убыль подстилки  $\Delta(t, t+1)\Pi_{\text{Pr}} = \Pi_t - \Pi^{\text{n}} t+1$

Таблица 4

## Залежи. Содержание органического вещества, г/ 1 кв. м

Дата (t, t+1) t	Корни $K_t$			Всего	Корни после разложения $K^{\text{K}} t+1$			Всего
	0-10	10-20	20-30		0-10	10-20	20-30	
13.08.14 г.	860,8	291,2	126,4	<b>1278,4</b>				
					616,0	118,4	62,4	<b>796,8</b>
12.05.15 г.	544,0	187,2	86,4	<b>817,6</b>				
					324,8	107,2	137,6	<b>569,6</b>
11.06.	524,8	115,2	118,4	<b>758,4</b>				
					118,4	86,4	60,8	<b>265,6</b>
20.07.	568,0	102,4	49,6	<b>720,0</b>				
					316,8	144,0	51,2	<b>512,0</b>
11.08.	784,0	172,8	108,8	<b>1065,6</b>				
					168,0	136,0	49,6	<b>353,6</b>
<b>Сумма</b>	<b>3281,6</b>	<b>868,8</b>	<b>489,6</b>	<b>4640,0</b>	<b>1544,0</b>	<b>592,0</b>	<b>361,6</b>	<b>2497,6</b>

Таблица 5

## Приход растительного вещества на 11-й год залежи, г/кв. м

Показатели	Надземное растительное вещество			Мортмасса D+L	Общий запас		Общий запас G+D+L+R	L/ D	D+L/ G	R/ G+D+L
	Фито масса C	Ветошь D	Подстилка L		Надземный G+D+L	Подземный R				
2014–2015 гг.	228,0	<b>55,6</b>	<b>89,2</b>	144,8	372,8	<b>2142,4</b>	2515,2	1,6	0,6	5,7

Продуцирование корней составило 4640 г/кв. м (1066–1278 г/кв. м осенью, весной 818 г/кв. м, в летний период 720–758 г/кв. м), основная масса корней в слое почвы 0–10 см – 71%, 10–20 см – 19% и 20–30 см – 10%. Поступление растительных остатков в почву усиливается в летний период в первой декаде июня–454 г/кв. м, достигая 925 г/кв. м в августе. Убыль-минерализация или отмирание подземных органов (подземной мортмассы) происходит наиболее интенсивно в осенне-весенний период 482 и 712 г/кв. м и после сухого летнего периода 493 г/кв. м.

Общий запас прихода органической продукции 11-летней залежи до 2515 г/кв.м. год от выхода биомассы. Подземная продукция составляет 4640 г/кв.м. приход и убыль органической массы корней 46% – 2142 г/кв. м. Особенностью залежной экосистемы мерзлотных лу-

говых степей к разложению органических веществ в данной экосистеме является преобладание массы корней в 5,7 раз надземного растительного вещества, коэффициент разложения подстилки 1,6.

Т а б л и ц а 6

**Залежи. Интенсивность потоков органического вещества г/ в 1 кв. м**

Дата (t, t+1) t	Приход корней $\Delta(t,t+1)K=Kt+1-K$ t+1			Всего	Убыль корней $\Delta(t, t+1)K^p = Kt - K^k$ t+1			Всего
	0–10	10–20	20–30		0–10	10–20	20–30	
13.08.14 г.	-72,0	68,8	24,0	20,8				
					244,8	172,8	64,0	<b>481,6</b>
12.05.15 г.	200,0	8,0	-19,2	188,8				
					219,2	80,0	-51,2	248,0
11.06.	449,6	16,0	-11,2	<b>454,4</b>				
					406,4	28,8	57,6	<b>492,8</b>
20.07.	467,2	28,8	57,6	353,6				
					251,2	-41,6	-1,6	208,0
11.08.	692,8	155,2	76,8	<b>924,8</b>				
					616,0	36,8	59,2	<b>712,0</b>
<b>Сумма</b>	<b>1737,6</b>	<b>276,8</b>	<b>128,0</b>	<b>2142,4</b>	<b>1737,6</b>	<b>276,8</b>	<b>128,0</b>	<b>2142,4</b>

**Выводы.** Используемые 11-летние залежи обладают высокой продукцией до 5254 г/кв.м. год выхода биомассы, общий запас прихода органической продукции до 2515 г/кв.м. от выхода биомассы. По учету схема формирования растительности: с участием (*Leymus chinensis*, *Eletrigia repens*) (*Leymus-Eletrigia repens*) 13 и 38% в составе, с обилием сухостепной растительности (*Poa transbaicalica*) до 21%, с участием бобовых видов (*Oxytropis strobilacea*) до 20% в составе травостоя и разнотравья в том числе (*Jacobeia vulgaris*) и зависела от условий года. Динамика поступления органического вещества за сезон показала, что приход подстилки 89 г/кв. м, убыль подстилки за весь период 102 г/кв.м или 38% от массы подстилки за весь период учета. Поступление подземной продукции, в виде первичной органической массы корней, составляет 4640 г/кв. м за 11 лет залежи, приход и убыль органической массы корней 46% – 2142 г/кв. м. Значительное поступление органической массы в теплый ранний летний период и ранней осенью, зависит от количества осадков вегетационного периода. Особенностью залежной экосистемы мерзлотных луговых степей к разложению органических веществ в данной экосистеме является преобладание массы корней в 5,7 раз, при коэффициенте разложения подстилки 1,6.

### Литература

1. Вильямс В.Р. Избранные сочинения. М.: Издательство Академии наук СССР, 1950. 790 с.
2. Тюрин И.В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. М.: Наука, 1966. 320 с.
3. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.
4. Гаджиев И.М., Королюк А.Ю., Титлянова А.А. Степи Центральной Азии. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2002. 299 с.
5. Титлянова А.А. Изучение биологического круговорота в биогеоценозе (Методическое руководство). АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т почвоведения и агрохимии. Новосибирск, 1971. 29 с.
6. Кутузова А.А. Лекции послевузовского образования по специальности 06.01.06 – луговое хозяйство, лекарственные и эфирно-масличные культуры. М.: Угрешская типография», 2013. 116 с.
7. Кутузова А.А. Средообразующие функции луговых экосистем // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: средообразующие функции кормовых растений и экосистем. Сборник научных трудов, выпуск 1 (49). ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса. М., 2014. 128 с.

## DETERMINATION OF THE ORGANIC MATERIALS RESERVE IN THE MODE OF RECONSTRUCTION OF FALLOWS INTO MEADOW LANDS

L.V. Martynova

Institute of biological issues of cryolithic zone, Siberian Department of the Russian Academy of Science, Yacutsk, Russia, lugved@list.ru

**Summary.** *On experimental sections with meadow-flooded layered soils of the suburb of Yacutsc city, the 11-year-old grassland in use has a high production up to 5254 g/sq m year of biomass yield. Underground produce includes 4640 g/ sq m. Amount of arrival and decline of organic roots mass is 46% – 2142 g/ sq m. Arrival of organic mass roots prevail increment of an aerial plant substance in 5.7 times and degradation coefficient of plant litter prevails in 1.6 times. Total amount of phytomass fraction in agrocenosis is 6% and plant litter is 5% from whole reserve of vegetable material.*

**Keywords:** *grassland, biomass, root mass.*

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ ЛАНДШАФТНЫХ КОМПЛЕКСОВ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКОВ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Н.А. Мартынова

ГОУ ВО «Иркутский государственный университет», Иркутск, natamart-irk@yandex.ru

**Аннотация.** Проведена оценка и сравнительный анализ экологической устойчивости почв территорий национальных парков (НП) Байкальской рифтовой зоны (БРЗ): Прибайкальского («Заповедного Прибайкалья» Иркутской области), Тункинского (республики Бурятия) и Хубсугульского (Монголии). Проведенные исследования позволили оценить почвенное разнообразие и определить рекреационные нагрузки на почвенный покров территорий исследования в аспекте развития экологического и научного туризма на российском и международном уровнях.

**Ключевые слова:** экологическая устойчивость почв, Байкальская рифтовая зона, национальные парки, рейтинг устойчивости почв.

В Байкальском регионе создана плотная сеть различных типов ООПТ. В нем находится семь заповедников и четыре национальных парка федерального значения. Почвы национальных парков БРЗ характеризуются большим разнообразием, что связано с горным рельефом, высотной поясностью, выходом различных пород. Уникальность природных условий и сформировавшихся здесь почв, биоценозов ландшафтов вокруг оз. Байкал, как участка Мирового наследия, которые необходимо сохранять, а также – высокая рекреационная активность населения, определяют необходимость оценки и учета природных ресурсов, их устойчивости, в том числе и почв, что и определяет актуальность данного исследования.

**Объекты и методы.** Объектами исследования послужили различные почвы 3 национальных парков БРЗ: Прибайкальского («Заповедного Прибайкалья») Иркутской области, Тункинского -республики Бурятия и Хубсугульского -Монголии. Для полевого исследования почв исследуемых ландшафтов применялись почвенно-морфологический, педолитологический, ботанический, геолого-геоморфологический и сравнительно-географический методы исследования. В лабораторных исследованиях свойств почв были применены общепринятые методы исследования физико-химических свойств почв.

**Обсуждение результатов.** Устойчивость можно определить как потенциал сохранения данной природной системой режима функционирования. Понятие «устойчивости» систем сводится к трем составляющим: 1) рамкам естественного функционирования, 2) способности сопротивляться внешним воздействиям и 3) возможностям релаксации после снятия нагрузок [1]. Таким образом, устойчивость определяется через соотношение нормального функционирования, восстановления после разрушения и необратимого преобразования. Все динамические изменения, происходящие в пределах одного инварианта, т.е. качественно неизменного состояния, служат выражением устойчивости почвы, так как свидетельствуют о ее способности возвращаться к исходному положению.

Т.е., понятие «устойчивости» почвы включает ее способность к саморегуляции [2], ее способность как сохранения своей пространственно-временной структуры, особенностей и режимов функционирования, параметров сопротивляемости в пределах естественной вариативности в границах классификационного выдела при внешних воздействиях [3], так и – восстановления нарушенных свойств [4]. Устойчивость почв формируется за счет собственных свойств, определяющих посредством буферности (*внутреннего фактора*) их сопротивляемость внешнему воздействию (способность «брать на себя», нейтрализуя это воздействие), и за счет способности «сбрасывать с себя» нагрузки на другие экосистемы благодаря положению в катене, особенностям климата (*внешний фактор*).

На устойчивость почв и ландшафтов НП БРЗ как природных территориальных систем наибольшее влияние оказывают климатические факторы, определяющие энергетику ради-

альных геоматических процессов (радиационный баланс, степень увлажнения, ветровой режим) и тектонические факторы, определяющие латеральные геоматические процессы (интенсивность и направленность движений сейсмичности). Интегральная устойчивость почв и ландшафтов оценивается через экспертную бальную систему для каждого компонента экосистемы, позволяющую достаточно информативно и экспрессно, сравнительно, вариабельно и корреляционно проводить ее измерение и успешно использовать в практическом применении. Экологическая устойчивость исследуемых почв зависит от положения в ландшафте, содержания гумуса, крутизны склона, минералогического, химического и гранулометрического состава почв и почвообразующих пород.

Количественно экологическая устойчивость почв оценивалась нами через следующие показатели [5]: кислотность ( $pH_{H_2O}$ ); емкость катионного обмена (ЕКО) для слоя 0-20 см; мощность/запасы гумусового аккумулятивного горизонта (А + АВ); тип водного режима почвы; положение биогеоценоза в катене; крутизна склона. Предложенный набор показателей отражает оба вида устойчивости. Первые два – отражают адаптационную устойчивость: ЕКО – к химическому загрязнению, а мощность гумусового аккумулятивного горизонта – к механическому нарушению. Остальные показатели характеризуют способность почвы к восстановлению (проявлению регенерационной устойчивости). Дополнительно для оценки экологической устойчивости мы ввели показатели почвообразующих пород, гранулометрического состава. Также – использовали показатели буферности почв, так как после исчерпания природных ресурсов нейтрализации протонов происходит активизация соседней, более кислой, зоны буферности, что активно отражается на составе и свойствах жидкой и твердой фаз почвы в целом [6]. Каждый из показателей устойчивости оценивался нами по 5-ти балльной системе. По итоговым рейтинговым баллам исследуемые почвы были разбиты на следующие категории устойчивости: очень высоко-устойчивые (36–40 баллов); высоко устойчивые (31–35 балл); средне устойчивые (26–30 баллов); относительно устойчивые (21–25); слабо устойчивые (16–20 баллов); минимально устойчивые (11–15); не устойчивые (1–10 баллов). На высоких водораздельных пространствах и склонах Приморского хребта, Тункинских Альп и Восточного Саяна формируются слабо- и относительно устойчивые петрозёмы гумусовые, литозёмы перегнойно-тёмногумусовые, подбуры, подзолы, дерново-(торфяно)-подбуры глеевые, сухо-торфяно-подбуры и их сочетания. В переувлажненных слабофильтрующихся местах формируются слабоустойчивые торфяно-глеезёмы, глеезёмы криометаморфические.

Проведённые исследования позволили оценить и составить рейтинг устойчивости исследуемых долинных почв Тункинского, Прибайкальского и Хубсугульского НП БРЗ (табл. 1).

Экологическая устойчивость исследованных почв национальных парков БРЗ характеризуется, в основном, как средняя и высокая. Это обусловлено широким распространением здесь карбонатных и основных пород, высокой обогащенностью пород катионами щелочных и щелочно-земельных металлов, высокой гумусированностью верхних горизонтов. Наименьшая (ниже среднего) эколого-геохимическая устойчивость характерна для почв экосистем подгольцовых лисвеничных, листовично-сосновых и сосновых редколесий – горных подбуров; для криоземов и глееземов – несколько выше. Буроземы и дерново-подзолистые почвы Прибайкалья характеризуются, как правило, средним уровнем экологической устойчивости. Наибольшие величины почвенно-экологического потенциала характерны для перегнойно-карбонатных почв.

На горных территориях НП БРЗ прослеживается вертикально-поясная смена почв, характеризующихся различной устойчивостью, от наибольшей (как правило) внизу, до наименьшей вверх. На территориях сложенных карбонатными породами подобные закономерности не прослеживаются. На участках отсутствия карбонатных пород устойчивость почв, как и величины критических рекреационных нагрузок на ландшафты, определяется количеством ежегодного возврата с опадом физиологически активных катионов – то есть – продуктивностью биогеоценозов и интенсивностью биогеохимических процессов, а также – скоростью выветривания, богатством почв слабовыветрелыми минералами и благоприятным гидротермическим режимом.



## Оценка экологической устойчивости почв национальных парков Байкальской рифтовой зоны

Территория исследования	Категория устойчивости	Рейтинговый балл	Название почвы	Индекс разреза
Тункинский национальный парк, окрестности пос. Аршан, Бурятия	высокоустойчивые	34	Переговойно-тёмногумусовые глееватая иловато-переговойная на элювии сланцев	Арш-М2/4
		33	Переговойно-темногумусово-глеевая	Арш-М5/2
		32	Чернозёмовидная криогенно-мицеллярная глееватая на аллювиальных отложениях	Арш-М7/3
		32	Темно-серая метаморфическая глинисто-иллювирированная остаточно-карбонатная	Арш-М4/2
		31	Темно-серая метаморфическая остаточно-карбонатная	Арш-11/1
	среднеустойчивые	30	Тёмно-серая элювирированная на лессовидных суглинках с вулканическими шлаками	Арш-М3-3
		29	Каштановая типичная на покровных четвертичных лессовидных суглинках	Арш-М3-1
		28	Торфяно-глеезём переговойно-торфяный	Арш-М7/2
		27	Бурозём темногумусовый остаточно-карбонатный	Арш-М6-3
Прибайкальский НП, окрестн. пос. Курма	высокоустойчивые	31	Чернозем глинисто-иллювиальный реградированный	Кур-1/13
		31	Темно-гумусово-глеевая	Кур-2/1
	среднеустойчивые	29	Каштановая глинисто-иллювирированная	Кур-1/8
		27	Бурозем элювирированно-глинисто-иллювирированный железистый	Кур-3/12
Прибайкальский НП, окрестности пос. Б. Голоустное	высокоустойчивые	33	Переговойно-темно-гумусовая элювирированная глееватая	Гол-15/П15
		33	Темно-гумусовая остаточно-(натечно)-карбонатная	Гол-15/П9
		31	Торфяно-глееземы переговойно-гумусовые омергеленный	Гол-15 /П10
Прибайкальский НП, окрестности пос. Б. Голоустное	среднеустойчивые	30	Чернозёмовидная элювирированная переговойно-глеевая	Гол15 /П8
		27	Бурозем остаточно-карбонатный на доломитах (Кузьмин, [7])	Гол-02/8
	относительно – устойчивые	25	Подзол иллювиально-железистый на сланцах (Кузьмин, [7])	Гол-Уш-02/27
		24	Подбур оподзоленный на делювии сланцев (Кузьмин, [7])	Гол-Хо-02/17
Хубсугульский НП (окрестности оз. Ховегол, Монголия)	высокоустойчивые	33	Темно-серая метаморфическая элювирированная остаточно-карбонатная	1-ОГ
		32	Карболитозем переговойный глинисто-иллювирированный остаточно-(фосфатно)-карбонатный	5-ОГ
		32	Темно-гумусово-глеевая переговойно-гумусовая	3-ОГ
		31	Чернозем криогенно-мицеллярный (фосфатно)-карбонатный	2-ОГ
	среднеустойчивые	28	Палевая темно-гумусовая элювирированная глееватая остаточно-карбонатная	6-МБ
		27	Криоаридная палево-метаморфическая элювирированная на сланцах	1-МБ
		27	Криоаридная палево-метаморфическая	ББМ-2
		27	Бурозем иллювиально-железистый (Баянгол)	ББМ-4

Рейтинговый ряд устойчивости почв исследуемой территории имеет следующий вид, представленный таблицей 2 (в порядке ее убывания).

## Рейтинговый ряд категорий устойчивости почв территорий национальных парков БРЗ

Категория устойчивости	Баллы устойчивости	Типы почв
Высоко устойчивые	33-34	Перегнойно-тёмногумусовые глеевые и глееватые (элювиированные); Тёмно-гумусовые остаточно-(натечно)-карбонатные
	32	Чернозёмовидные криогенно-мицеллярные; Тёмно-серые метаморфические глинисто-иллювиированные остаточно-карбонатные; Карболитоземы перегнойные глинисто-иллювиированные остаточно-(фосфатно)-карбонатные; Тёмно-гумусово-глеевые перегнойно-гумусовые
	31	Черноземы криогенно-мицеллярные карбонатные; Черноземы глинисто иллювиальные реградируемые; Тёмно-серые метаморфические остаточно-карбонатные; Тёмно-гумусово- глеевые; Торфяно-глееземы перегнойно-гумусовые омергеленные
Средне устойчивые	30	Тёмно-серые элювиированные; Чернозёмовидные элювиированные перегнойно-глеевые
	29	Каштановые типичные; Каштановые глинисто-иллювиированные;
	28	Палевые тёмно-гумусовые элювиированные остаточно-карбонатные;
	27	Буроземы (тёмно-гумусовые) элювиированные, иллювиально-железистые и остаточно-карбонатные; Палевые тёмно-гумусовые элювиированные; Криоаридные палево-метаморфические (элювиированные)
	26	Бурозем оподзоленный остаточно-карбонатный на делювии протерозойских сланцев
Относительно устойчивые	25	Подзолы иллювиально-железистые
	24	Подбуры оподзоленные
	23	Бурозем маломощный на делювии кристаллосланцев и гранитов; Тёмно-гумусовые глеевые иловато-перегнойные
	21	Чернозёмовидные гидрометаморфизованные квазиглееватые
Слабо устойчивые	20	Буроземы ожелезненные; Серые метаморфические элювиированные на делювии протерозойских сланцев
	18	Дерново-подзолистые среднемощные

**Заключение.** В целом, пространственное распределение критических величин рекреационных нагрузок подчиняется общим закономерностям формирования почвенного покрова в условиях вертикальной поясности, осложняясь с одной стороны пространственной вариативностью величин внутрпочвенного выветривания (которая, в свою очередь, зависит от особенностей геологического строения территории), и емкостью биологического круговорота – с другой.

В Тункинском национальном парке наиболее высокой устойчивостью характеризуются перегнойно-тёмногумусовые глееватые; тёмно-серые метаморфические глинисто-иллювиированные остаточно-карбонатные; чернозёмовидные криогенно-мицеллярно-карбонатные глееватые почвы. Северо-восточная оконечность Тункинской долины подвержена подщелачивающему воздействию переносимых соединений Иркутско-Черемховской промышленной зоны, снижающих кислотность почв. Отрицательное воздействие хозяйственной деятельностью человека вдоль автотрассы пос. Култук, увеличивающей кислотную нагрузку на ландшафты, снижает устойчивость почв.

В Прибайкальском национальном парке наиболее устойчивыми почвами являются черноземы глинисто иллювиальные, тёмно-гумусово-глеевые и остаточно-карбонатные почвы; торфяно-глееземы перегнойно-гумусовые омергеленные. В Хубсугульском национальном парке к наиболее устойчивым относятся почвы юго-западной оконечности оз. Хубсугул БРЗ, где развиты фосфатно-карбонатные породы: тёмно-серые метаморфические элювиированные остаточно-карбонатные; карболитоземы тёмногумусово-перегнойные глинисто-иллювиированные остаточно-(фосфатно)-карбонатные; тёмно-гумусово-глеевые перегнойно-гумусовые почвы; черноземы криогенно-мицеллярные (фосфатно)-карбонатные.

## Литература

1. Рюмин В.В. Динамика и эволюция южно-сибирских геосистем. Новосибирск: Наука, 1988. 137 с.
2. Арманд А.Д. Устойчивость (гомеостатичность) географических систем к различным типам внешних воздействий // Устойчивость геосистем. М.: Наука, 1983. С. 14–16.
3. Росновский И.Н. Устойчивость почвы: техногенно-механические аспекты. Новосибирск: Наука, 1993. С. 3–11.
4. Фокин А. Д. Устойчивость почв и наземных экосистем: подходы к систематизации понятий и оценке // Известия ТСХА. 1995. № 2. С. 71–85.
5. Гришина Л.А., Копчик Г.Н., Моргун Л.В. Организация и проведение почвенных исследований для экологического мониторинга. М.: Изд-во МГУ, 1991. 82 с.
6. Куприянова Т.П. Обзор представлений об устойчивости физико-географических систем // Устойчивость геосистем. М.: Наука, 1983. С. 7–13.
7. Кузьмин В.А. Почвы центральной зоны Байкальской природной территории. Иркутск: Изд-во Института Географии СО РАН, 2002. 166 с.

### ECOLOGICAL STABILITY OF SOIL-GEOLOGICAL-GEOMORPHOLOGICAL LANDSCAPE COMPLEXES OF NATIONAL PARKS OF BAIKAL RIFT ZONE

N.A. Martynova

Irkutsk state University, Irkutsk, natamart-irk@yandex.ru

**Summary.** *The evaluation and comparative analysis of soils environmental sustainability of the national parks (NP) territories of Baikal rift zone were conducted: Pre-Baikal NP («Zapovedny Pre-Baikal» conservation area of Irkutsk region of Russia); Tunkinsky NP (Republic of Buryatia) and Khubsugul NP (Mongolia). The conducted researches have been allowed to estimate a soil variety and to define the recreational loadings to soil cover of researches territories in aspect of development of ecological and scientific tourism at russian and international levels.*

**Keywords:** *ecological stability of soils, Baikal rift zone, national parks, soil's stability rating.*

## ПОЧВЕННО-РЕСУРСНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТОВ Г. ИРКУТСКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ

Н.А. Мартынова, В.С. Пушкарева

ГОУ ВО «Иркутский государственный университет», Иркутск, natamart-irk@yandex.ru

**Аннотация.** В окрестностях г. Иркутска приоритетной задачей является сохранение лесных почвенно-растительных сообществ с дерново-подзолистыми, серыми и серыми метаморфическими почвами, выполняющих важные средо-защитные функции, снижение их загрязнения, внедрение природных дендрокомплексов в структуру жилой застройки, а также – укрепление зеленого каркаса города через создание искусственных лесопарковых зон с устойчивым ценотическим составом.

**Ключевые слова:** почвенно-экологический потенциал, сохранение ландшафтов, зеленый каркас, охрана почв.

Весьма напряженная экологическая ситуация в городе Иркутске требует радикальных мер по ее улучшению. Формирование экологической инфраструктуры города должно основываться на оценке санитарно-экологической эффективности (средорегулирующего, средозащитного и санитарно-оздоровительного значения) зеленых насаждений, во многом определяемых и свойствами почвенного покрова.

Нынешнее состояние городских лесных массивов различных типов и категорий показывает высокую степень воздействия негативных факторов, присущих урбанизированным территориям. Это приводит к ослаблению растений, преждевременному старению, поражению болезнями, вредителями и к гибели растений. Эти же факторы влияют на экологические функции городских почв, их плодородие и пригодность для произрастания зеленых насаждений; их способность сорбировать в толще загрязняющие вещества и удерживать их от проникновения в почвенно-грунтовые воды. Таким образом, изучение свойств и особенностей почв необходимо для формирования устойчивой и эффективной инфраструктуры зеленого каркаса города и его окрестностей, что и определяет цель и актуальность данного исследования. Сегодня как никогда необходима реабилитация водно-зеленой системы города – сохранение и восстановление ее непрерывности.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования послужили почвы лесных биоценозов различных районов г. Иркутска и его окрестностей. Полевые исследования почв проводились с применением почвенно-морфологического, педо-литологического, ботанического, геолого-геоморфологического и сравнительно-географического методов исследования. На территории месторождения было заложено и описано свыше 30 почвенных разрезов. Основные физико-химические свойства почв были определены в 20 почвенных разрезах с помощью общепринятых методов потенциометрии, титрования, фотокolorиметрии и др. [1] в пробах воздушно-сухих образцов почв.

**Обсуждение результатов.** Лесные сообщества и зеленые насаждения играют важную роль в оптимизации экологических условий (уменьшение загазованности и запыленности воздуха, защита от шума и др.), в положительном влиянии на микроклимат территории. Лесные пространства значимо снижают техногенную нагрузку со стороны города и автомагистралей. Они также выполняют функциональную, экологическую, санитарно-гигиеническую и эстетическую функции, что особенно важно в таких в урбанизированных территориях, как г. Иркутск.

По состоянию атмосферного воздуха г. Иркутск относится к числу наиболее загрязненных городов, входя в список 45 городов России с очень высоким уровнем загрязнения территории. Загрязнение является следствием как значительных выбросов от промышленных предприятий, мелких котельных (более 300) и автотранспорта, так и слабыми рассеивающими возможностями атмосферы при преобладающем антициклоне и повышенной влажности воз-

духа. Так как г. Иркутск относится к территориям высокой техногенно-антропогенной нагрузки, важной проблемой становится изучение экологического состояния почв и ландшафтов города, и особенно – его лесных сообществ. Для многих лесных почв нами выявлено подщелачивающее воздействие на почвы зольных выбросов ТЭЦ и котелен города.

Система озеленения г. Иркутска на сегодня не отвечает в должной мере задачам улучшения состояния окружающей среды. В городе отсутствуют крупные зеленые массивы на территории жилой застройки, на улицах города много старых, больных и поврежденных деревьев. В связи с этим возникает необходимость создания экологического каркаса [2] города – т.е. создания новых зеленых массивов, сохранения старых и разработки ассортимента древесных и кустарниковых растений, наиболее устойчивых к городским условиям произрастания. В перечень лесных массивов, подлежащих учету при разработке всех видов градостроительной документации г. Иркутска, вошли лесной массив, расположенный в пос. Вересовка, на станции Батарейной, по дороге в пос. Плишкино, курорт «Ангара», роща на Синюшиной горе, Кайская реликтовая роща, участок леса в микрорайоне «Юбилейный», участок леса в районе ул. Дорожной, водоохранная зона Ершовского водозабора, роща микрорайона «Ново-Мельниково» и др. Одним из приоритетных «зеленых» проектов в г. Иркутске является проект развития «Кайской горы» и превращения Кайской реликтовой рощи в туристическое «ядро» города, сохраняя при этом древний сосновый лес.

Для почвенно-растительного разнообразия и его экологического потенциала необходимо знать и учитывать основные скорости, характерные времена, обратимость-необратимость почвообразовательных и почвоизменяющих, ценозо-формирующих процессов, принимая во внимание тот факт, что процессы антропогенной деградации почв и ландшафтов действуют намного быстрее процессов естественного почвообразования и воспроизводства биоценозов.

Почвообразующие породы в г. Иркутске и его окрестностях представлены континентальными, преимущественно терригенными юрскими отложениями, с длительным перерывом и структурным несогласием залегающими на породах нижнего кембрия. Часто юрские отложения перекрыты более молодыми образованиями четвертичного возраста, представленными песками, галечниками, лессовидными покровными суглинками. Разнообразие пород при высокой расчлененности рельефа и неравномерности распределения осадков способствуют произрастанию разнообразных лесных ценозов и обуславливают развитие разных типов почв (рис. 1), среди которых наиболее распространенными являются дерново-подзолистые, серые почвы, серые метаморфические, буроземы и их разновидности.

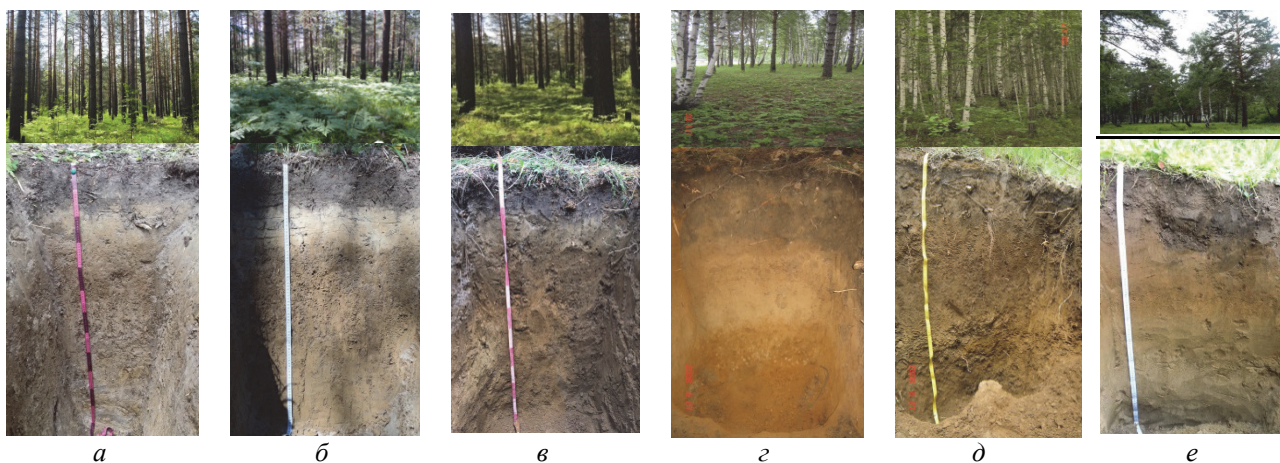


Рис. 1. Почвы окрестностей г. Иркутска: а – дерново-подзолистая на каолиновых глинах; б – дерново-подзолистая на элювии миоценовых глин; в – дерново-буро-подзолистая; г – серая метаморфическая остаточно-карбонатная; д – бурозем ожелезненный; е – дерново-подбур

В правобережных р. Ангары лесных массивах города микрорайонов «Радищево» и «Топкинский под бобово-разнотравно-папоротниково-злаковыми березовыми лесами» на миоценовых глинах сформировались дерново-подзолистые ожелезненные ненасыщенные глини-

стые почвы с кислой реакцией среды и глубоким оподзоливанием. Глинистый состав почв характеризуется повышенным количеством мелко-песчаной фракции в верхних горизонтах голоценового возраста (рис. 2) при повышенном содержании частиц пыли в нижних горизонтах почвенного профиля, что мы связываем со сменой режимов синлитогенного осадконакопления и почвообразования в плейстоцене-голоцене. На левобережье Иркутска дерново-подзолистые почвы сформировались на делюво-элювии юрских песчаников в окрестностях м-нов «Ново-Иркутский», «Ерши», «Синюшина гора» и др.

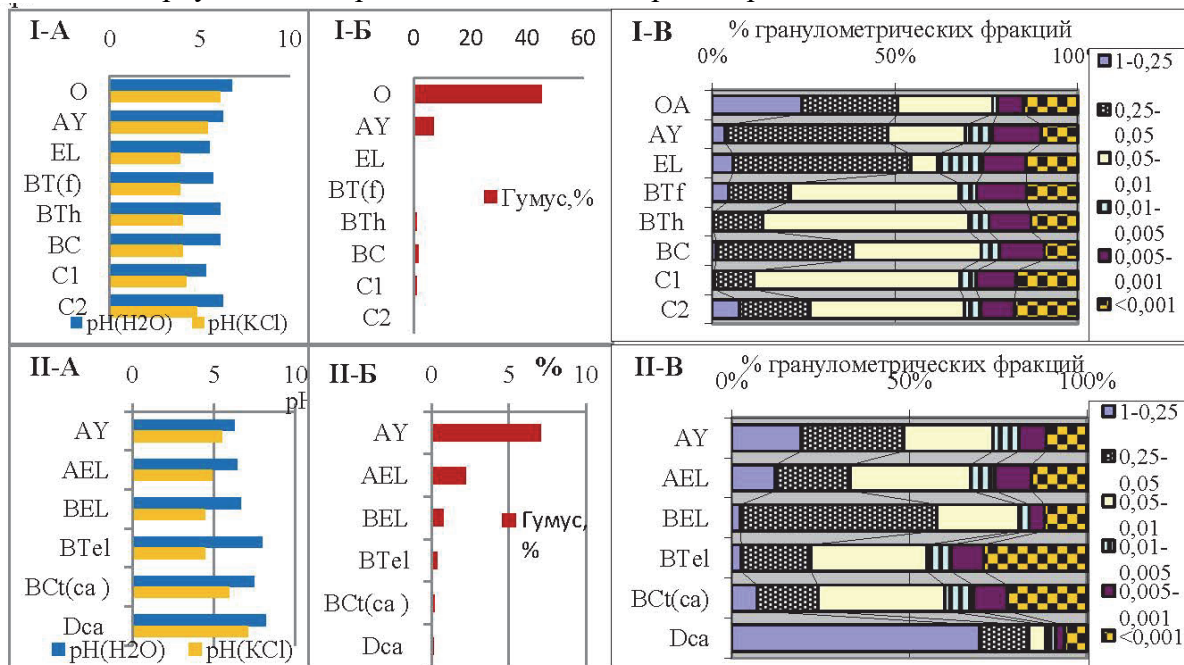


Рис. 2. Диаграммы физико-химических свойств: I – дерново-подзолистой почвы правобережной (р. Ангары) части города (Ирк-Рад-17/2); II- серой почвы левобережной части города (КР-09/15): А – рН; Б – гумус, %; В – гранулометрический состав

В левобережной части г. Иркутска, в районе Кайской горы, микрорайонов «Академгородок», «Университетский» почвообразующей породой являются четвертичные покровные лессовидные карбонатные (или выщелоченные – в понижениях) суглинки, подстилаемые элюво-делювием юрских песчаников и алевролитов, представленных ожелезненными обломками песчаников и слабовскипающим мелкоземом, что обуславливает развитие здесь серых почв с менее кислой – до нейтральной реакцией среды почвенного раствора, с более высокой гумусированностью и насыщенностью обменными катионами. Они характеризуются средне-тяжелосуглинистым гранулометрическим составом с преобладанием крупнопылеватой фракции, характерной для лессовидных пород. Оподзоленность проявляется в наличии по всей выщелоченной толще отмытых скелетан (белесой кремнеземистой присыпки) и формировании рассыпчато-плитчатой структуры. Профиль представляет текстурно-дифференцированную и оглиненную толщу с четко выраженными горизонтами: АО-АЕL-BT<sub>f</sub>-BT-BC<sub>(ca)</sub>-C<sub>ca</sub>-D<sub>(ca)</sub> (по классификации РФ 2004 г.). В профиле встречаются погребенные хорошо разложенные угольные прослои. В нижних частях склонов формируются более плодородные темно-серые тяжелосуглинистые почвы с мощной гумусовой толщей: АО-AU-AU<sub>el</sub>-BT-BT<sub>(ca)</sub>-BC<sub>ca</sub>-C<sub>ca</sub>-D<sub>ca</sub>.

Анализы рН показывают достаточно значимую оподзоленность серых почв верхних водораздельных частей Кайской рощи. В оподзоленных горизонтах этих почв рН (H<sub>2</sub>O) падает, составляя в гумусовых элювиальных горизонтах Кайской рощи 5,7–6,25 и 4,8–5,8 в автоморфных естественных серых лесных оподзоленных почвах Ботанического сада ИГУ. Вниз по профилю значения рН возрастают, что связано с почвообразующими породами – карбонатными лессовидными суглинками, перекрывающими юрские песчаники.

Гумусированность серых почв относительно высокая – до 7% гумуса в серогумусовых горизонтах, снижаясь в гумусово-элювиальных горизонтах до 2–3% (рис. 3). иллювиальных горизонтах его значение резко уменьшается, составляя 0,5–0,8%. Гумус преимущественно гуматно-фульватного состава (Сгк:Сфк~0,8). В темно-серых почвах содержание углерода в гумусовых горизонтах повышается и увеличивается его гуматность. Гранулометрический состав – преимущественно тяжелосуглинистый от покровных суглинков, на которых они формируются, неравномерен по профилю вследствие наложенного процесса лессиважа и резко меняется (облегчается) при переходе к подстилающей породе – делювию юрских песчаников (рис. 2).

В средней части склонов юго-западной экспозиции развиваются серые метаморфические глинисто-иллювиальные почвы. На наиболее южных и прогреваемых участках под редкостойным разнотравно-злаково-полынно-бобовым лесом фрагментарно формируются более плодородные темно-серые метаморфические тяжелосуглинистые почвы с достаточно мощной гумусовой толщей и отсутствием выраженного эллювиирования в гумусовой толще, которые в большинстве своем распаханы: PU-AU<sub>el</sub>-AUBM<sub>yu</sub>-BM<sub>yu</sub>-BC<sub>m, yu</sub>-C.

На приводораздельных участках формируются буроземы эллювиальные, со слабокислой реакцией среды, с трендом ее увеличения с глубиной, что связано с наличием в почвообразующей породе (лессовидных суглинках) остаточных карбонатов, препятствовавших развитию подзолообразовательного процесса. Локально на песчаных массивах и делювиальных отложениях юрских песчаников формируются подбуры, где промывной режим и кислая реакция среды способствует развитию альфегумусового процесса и ожелезнения профиля.

Под остепненными разнотравно-бобово-злаковыми ассоциациями пологих склонов юго-западной экспозиции формируются чернозёмы типичные среднemocные тяжелосуглинистые и черноземы глинисто-иллювиальные отдела аккумулятивно-гумусовых почв, обладающие относительно небольшой мощностью, но достаточно высоким природным плодородием. На надпойменных террасах долин притоков р. Иркута (р. Кая и др.) под разнотравно-бобово-полынно-злаковой луговой растительностью на погребенных луговых почвах и четвертичных аллювиальных отложениях формируются черноземовидные типичные (или лугово-черноземные выщелоченные – по классификации 1977 г.) маломощные тяжелосуглинистые почвы с содержанием гумуса до 4-6%. В поймах рек (Кай, Ангара, Иркута и др.) под разнотравно-бобово-злаковыми лугами с кленом и различными видами ив часто на погребенных аллювиальных серогумусовых глееватых почвах развиваются современные аллювиальные темно-гумусовые глееватые тяжелосуглинистые среднemocные почвы (аллювиальные луговые выщелоченные почвы по классификации 1977 г.).

Вниз по ландшафту почвы обогащаются вымытыми с верхних частей склона карбонатами и имеют соответственно, высокое значение pH по всему профилю. Почвы левобережной части города, где покровные лессовидные суглинки часто перекрывают эллювиально-делювиальные отложения юрских песчаников, почвы долины р. Кай – луговые и аллювиальные – имеют высокое значение pH – 8,0 и выше по всему профилю. По количеству углерода исследуемые почвы можно охарактеризовать как средние и мало-гумусированные.

По результатам структурного анализа можно сказать следующее:

- наибольшей структурированностью характеризуется средняя часть профиля;
- в нижней части профиля увеличивается количество пылеватых агрегатов;
- структурный анализ показывает сложное двучленное строение профиля.

Наибольшей буферностью и устойчивостью к внешним воздействиям, загрязнению и деградации обладают почвы нижних частей юго-западных склонов – темно-серые и темно-серые метаморфические, а также – черноземы, черноземовидные и темно-гумусово-глеевые почвы долины р. Кай.

**Заключение.** Исследованные серые почвы, черноземы, черноземовидные и темно-гумусово-глеевые (луговые) почвы, обладая высоким естественным плодородием, несомненно способствуют сохранению биоразнообразия таких охраняемых природных объектов как Кайская роща, имеющая природоохранный статус, и являются устойчивой основой для со-

хранения реликтовых парковых лесов региона и формирования культурных ландшафтов (например – инновационного проекта по созданию в Иркутске публичного ботанического сада на Кайской горе). Кайская гора является уникальной природной лабораторией, отражающей историю формирования природной среды четвертичного и третичного времени. Небольшие углы наклона поверхности и сглаженные формы рельефа Кайской горы и ее окружения создают здесь хорошие условия для устойчивого и сбалансированного развития почвенно-растительного покрова.

Достаточный уровень плодородия почв исследуемой территории при невысоких углах наклона поверхности и сглаженных формах рельефа холмисто-увалистого рельефа окрестностей создает хорошую базу для устойчивого и сбалансированного развития почвенного покрова и растительности. Можно охарактеризовать почвенный покров Кайской горы и других увалов окрестностей г. Иркутска – как средне устойчивый и достаточный для реализации проектов создания зеленых поясов-оазисов вокруг и внутри урбанизированных территорий города. Действенными мероприятиями, способствующими оздоровлению природной среды г. Иркутска, являются: улучшение санитарно-гигиенического и рекреационного состояния города через расширение зеленых зон; определение оптимальной взаимосвязи зеленых насаждений с почвенным покровом на основе учета естественных скоростей развития почв и биоценозов, влияния природных факторов почвообразования, климатических особенностей, антропогенно-техногенной и природной архитектуры и тектоники; создание экологического каркаса из существующих лесных массивов и лесо-парковых рекреационных зон отдыха и оздоровления населения с имитацией естественных связей через непрерывные экологические тропы вдоль водотоков, выполняющих роль «зеленых коридоров».

Реализация подобных проектов не только позволит сохранить и восстановить окружающую природную среду города, но послужит мощным толчком как для развития зеленого градостроительства в г. Иркутске и оптимизации зеленых поясов городских ландшафтов Байкальской Сибири, так и для развития образования, просветительства и экологической культуры в регионе.

## Литература

1. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 324 с.
2. Мартынова Н.А, Белоусов В.М., Кузеванов В.Я. Почвенно-экологический потенциал естественных ценозов левобережных ландшафтных комплексов р. Ангары г. Иркутска // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». 2015. Т. 13. С. 60–74.

## SOIL RESOURCE AND ECOLOGICAL POTENTIAL OF FOREST LANDSCAPES OF IRKUTSK-CITY AND ITS SURROUNDINGS

N.A. Martynova, V.S. Pushkareva

State educational institution of the higher education «Irkutsk State University», Irkutsk, natamart-irk@yandex.ru

**Summary.** *At surroundings of Irkutsk-city, the priority is the preservation of forest soil-vegetative biocenoses with sod-podzolic, gray and gray metamorphic soils, which performs an important environmental-protective functions, reducing pollution, introduction of natural dendrocomplexes into the structure of residential building, also – the strengthening of the green frame of the city through the creation of artificial grassland areas with sustainable coenotic composition.*

**Keywords:** *soil-environmental capacity, landscape conservation, green frame, conservation of soil*



## ЭВОЛЮЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЛУГОВ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ

Н.П. Миронычева-Токарева, С.В. Шибарева

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, nina@issa.nsc.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются процессы трансформации луговой растительности лесостепной зоны в пределах Новосибирской области. Установлено, что формирование и антропогенная деградация лугов осуществляется на базе трех исходных типов растительных сообществ: остепненных, настоящих и лесных лугов. На I стадии антропогенной деградации луговые сообщества еще характеризуются большим эколого-фитоценотическим разнообразием, богатством флористического состава. В дальнейшем разнообразие сообществ существенно сокращается, на III стадии в результате конвергенции остаются лишь мелкотравные луга. Луговые сообщества на III стадии деградации малопродуктивны, но обладают высокой устойчивостью к пастбищной нагрузке.

**Ключевые слова:** луга, растительный покров, видовое разнообразие, дигрессия, пастбищная нагрузка.

В настоящее время степные и лесные экосистемы юга Западной Сибири подвержены отрицательному воздействию разнообразных антропогенных факторов. Актуальность исследований обусловлена обострением экологической ситуации в Новосибирской области в связи с ее интенсивным хозяйственным освоением за длительный исторический период. Результаты негативных процессов природопользования нарушают природно-ресурсное равновесие и устойчивость ландшафтов. Негативная трансформация проявляется в изменении растительного покрова. Происходит упрощение строения растительного сообщества, изменение величины чистой первичной продукции в результате уплотнения верхнего почвенного горизонта, вызванного перевыпасом.

**Объекты и методы.** Основной целью исследования пастбищ в лесостепных районах является оценка степени трансформации растительного покрова луговых экосистем, вызванного нерегулируемым выпасом. При обследовании лугов использовались следующие показатели: общее проективное покрытие, средняя высота травостоя, горизонтальная структура, видовая насыщенность, запасы надземной фитомассы, культурно-техническое состояние пастбищ, пастбищная нагрузка в условных головах на гектар [3]. Были обследованы пастбища в границах Здвинского, Краснозерского и Баганского районов Новосибирской области

Лесостепные экосистемы подвержены с запада и юго-запада влиянию казахстанских ветров, которые выветривают почву. Речная сеть представлена бессточными реками Карасук, Баган, Бурла. Климат континентальный, отличается жарким засушливым летом и холодной малоснежной зимой. Средняя температура января от  $-17\text{ C}$  до  $-19\text{ C}$ , июля  $19\text{--}22\text{ C}$ . Годовое количество осадков составляет  $250\text{--}350\text{ мм}$ .

Зональными почвами на гривах и относительно хорошо дренированных приподнятых участках равнины являются обыкновенные чернозёмы суглинистые и супесчаные. На склонах грив распространены солонцеватые почвы, глубоко- и среднестолбчатые солонцы в комплексе с высокими, а в понижениях – солоды. В межгривных понижениях преобладают комплексы солончаковых почв с солонцами (корковыми и высокими) и солончаками, болотные почвы и заболоченные солоды. В озёрных котловинах, в пойме и на низких террасах развиты почвы галогидроморфного ряда: болотные, лугово-болотные солончаковые, луговые и поровые солончаки; на высоких террасах средне- и высокостолбчатые лугово-степные солонцы [2].

В растительном покрове на чернозёмах обыкновенных доминировали богато разнотравно-ковыльные остепненные луга, в настоящее время полностью распаханые. Последние крупные участки распаханы в 50–60-е годы прошлого столетия. Зональную принадлежность рас-

паханных территорий можно восстановить лишь по узким полоскам естественной растительности между пашней и окраинами колков. Злаково-разнотравные луга, приуроченные к склонам грив, повышенным равнинам и высоким террасам, так же на больших площадях распаханы, а сохранившиеся участки вблизи поселков сильно изменены выпасом и представляют все стадии антропогенной нарушенности – различные пастбищные модификации этих лугов [3].

В процессе длительного исторического развития растительные сообщества выработали ряд свойств направленных на максимальное использование солнечной энергии элементов питания и др. ресурсов неживой природы. В первую очередь к данным качествам сообществ следует отнести сбалансированный видовой состав, вертикальную и горизонтальную структуры (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Изменение параметров луговых экосистем при их трансформации

Луга						
Параметры	Исходные	Трансформированные				
		0 недеград.	I слабо деградир	II средне деград.	III сильно деград.	IV сбой
Общее проективное покрытие	75–95	75–90	70–80	60–70	40–50	20–30
Средняя высота	30–40	35–45	20–25	20–25	10–15	5–10
Горизонтальная структура %	однородная	однородная	пятнистая 15–20%	пятнистая 20–25%	25–40% пов. оголено	40–60% пов. оголено
Видовая насыщенность	40–45	35–45	20–30	15–20	10–12	5–8
Урожайность ц/га сухой массы	5–10	3–5	1–3	1–3	0,5–1	>0,5
Культурно-техническое состояние в баллах	0	0	1–2	2–3	3–4	5
Пастбищная нагрузка ус.гол./га	0,5–1	2–3	3–4	5–7	6–10	12–20

**Обсуждение результатов.** При интенсивном выпасе в плане перестройки структуры сообществ наиболее рельефно выделяются два процесса: упрощение ярусной структуры и угнетение возобновления травостоя. В природе они перекрываются и тесно связаны между собой. Угнетение возобновления у травянистых видов обычно связано с уничтожением их генеративных органов. Одновременно упрощаются горизонтальная и вертикальная структуры. В целом же наблюдается снижение биологической продуктивности фитоценоза. Травостой остепнённых лугов образован ксеромезофитным разнотравьем. Они встречаются на опушках колков и лесных массивов, а так же на северных экспозициях склонов сопок и разделяются на злаковые и разнотравно-злаковые. Злаковые луга представлены ковыльно-разнотравными, тимофеевично-мятликовыми, с доминированием тимофеевки степной, мятлика узколистного, лабазника обыкновенного, овсеца Шелля, ковыля перистого в верхнем ярусе. Второй ярус травостоя образуют вегетативные побеги злаков, лабазник обыкновенный, подмаренник настоящий, аконит бородатый, порезник сибирский. Урожайностью таких лугов колеблется в пределах 12–17 ц/га.

Разнотравно-злаковые сообщества представлены порезниково-тимофеевичными, лабазниково-тимофеевичными растительными ассоциациями с доминированием тимофеевки степной, вейника наземного, мятлика узколистного, лабазника обыкновенного, душицы, зопника, васильков, зверобоя, душицы и клевера гибридного с урожайностью 15–19 ц/га. Солонцовые трансформаты остепнённых лугов представлены растительными ассоциациями с доминиро-

ванием овсяницы луговой, пырея ползучего, полевицы гигантской, лисохвоста лугового. Они образуют разнотравно-овсяницево-ежовые, лисохвостовые и полевицевые луга с урожайностью 13–18 ц/га. Из разнотравья в них встречаются подмаренники настоящий и русский, поповник, чины луговая и клубненосная, синюха голубая, герань луговая, огоньки, лабазник вязолистный. Такие луговые сообщества устойчивы к воздействию умеренной пастбищной нагрузки, на них сохраняется равномерное распределение видов, густой, довольно высокий, многовидовой и высокопродуктивной травостой. При увеличении нагрузки злаково-разнотравные остепненные луга трансформируются в мятликово-разнотравные, отличающиеся содоминированием мятлика узколистного и видов группы разнотравья. При усилении пастбищной нагрузки разнотравье выпадает и следующая стадия характеризуется абсолютным преобладанием мятлика лугового и розеточного разнотравья.

По сравнению с исходными лугами мятликово-разнотравные луга беднее в видовом отношении, более разрежены и менее продуктивны. В зависимости от степени стравленности выделяется несколько стадий пастбищного сбоя. Отличия состоят в увеличении роли разнотравья, снижении видовой насыщенности, разрастания розеточных видов, возрастает роль полыней. Часть видов не меняет обилия на разных стадиях дигрессии или хотя бы на двух первых, хорошо перенося умеренный и даже интенсивный выпас. Многие виды, выдерживая интенсивный выпас, выпадают или уменьшают обилие при чрезмерном выпасе, происходит упрощение структуры травостоя, заметное уменьшение его сомкнутости, снижение продуктивности и питательности корма, обеднение популяционного состава лугов. Большинство видов относится к плохо- и непоедаемым, а так же сорным. Находящиеся на этой стадии дигрессии сообщества не способны к восстановлению. На стадии сбоя появляются участки, лишенные растительности, в травостое абсолютно преобладают сорные виды. Остепненные луга, приуроченные к наиболее сухим местообитаниям, в результате ксерофитизации, идущей здесь параллельно деградации, сменяются злаково-мелкодерновинными или ксерофитными полынными вторичными степями.

Торфянистые и переувлажненные луга занимают нижние позиции северных склонов, днища балок, блюдцеобразные понижения и берега рек и представлены щучковыми лугами с добавлением овсяницы луговой, тимофеевки и полевицы гигантской. Из разнотравья наиболее часто встречаются лабазник вязолистный, лютики, василистник прижатый, гравилат городской, чемерица Лобеля, осоки. Лисохвостово-лабазниковые луга встречаются в поймах рек. В качестве доминантов выступают вейник тростниковидный, осока дернистая, лабазник вязолистный, лисохвост луговой, ячмень короткоостистый и др. Зеленые мхи, занимающие самый нижний ярус, покрывают почву на 100–80%.

Наиболее влажные местообитания занимают тростниково-лисохвостовые луга на болотно-солончаковой почве. Общее количество видов растений в отдельных сообществах 15–20, представителей разнотравья, встречающихся единично, 5–8. Высота основного яруса луговых фитоценозов 80–90 см, общее проективное покрытие травостоя в среднем 80–90%, урожайность 20–25 ц/га. Такие луга используются в основном для сенокоса, практикуется выпас по отаве. При таком использовании луга длительно сохраняют свою структуру и флористический состав, но при постоянном выпасе, особенно в весеннее время, доминирующий лисохвост тростниковидный быстро сокращает свое обилие и замещается на более стойкие к условиям выпаса бескильницей растопыренной и полевицей гигантской. При повышении нагрузки появляются рудеральные сорные растения, устойчивые к засолению. Число видов на участке увеличивается до 20–25. Проективное покрытие снижается до 50–60%, урожайность – до 12–15 ц/га. Общее изменение структуры травостоя приводит к формированию дигрессивных (II стадия) тростниково-полевицевых, бескильничевых с тростником луговых сообществ, имеющих наибольшее распространение среди пойменных лугов. В этой стадии луга существуют при условии ежегодного опреснения их талыми водами. Но по мере обсыхания поймы, чему способствуют циклически повторяющиеся засушливые годы в сочетании с постоянным выпасом, идет процесс дальнейшего засоления почвенного покрова выпасаемых участков и в травяной покров активно внедряются галофильные виды. На микроповы-

шениях с выцветами солей поселяются различные галофильные растения. В понижениях много сорных однолетников – мари красная и городская, лебеда плодоножковая, щавель морской, лютик ядовитый, из многолетников обычны клоповник широколистный, осока ранняя. Число видов сокращается до 7–12, урожайность снижается до 3 ц/га.

**Заключение.** Анализ полученных материалов позволяет сделать вывод, что формирование и антропогенная деградация лугов в лесостепи на территории Здвинского, Краснозерского и Баганского районов осуществляется на базе трех исходных типов растительных сообществ: остепненных, настоящих и заболоченных лугов. Выделены четыре стадии деградации растительности луговых сообществ под пастбищной нагрузкой. На I стадии деградации луговые сообщества еще характеризуются большим эколого-фитоценотическим разнообразием, богатством флористического состава. В дальнейшем разнообразие сообществ существенно сокращается, состав и структура их упрощаются, на III стадии в результате трансформации остаются лишь мелкотравные луга. В ходе дальнейшей деградации происходит полное разрушение исходного растительного покрова, господство переходит к розеточному разнотравью и сорным однолетникам.

*Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 16-55-16007 НЦНИЛ\_a*

### Литература

1. Методические указания по экологической оценке кормовых угодий лесостепной и степной зон Сибири по растительному покрову. М., 1974.
2. Почвы Новосибирской области / под ред. Р.В. Ковалёва. Новосибирск: Наука, 1966. 422 с.
3. А.В. Куминова, Вагина Т.А., Лапшина Е.И. Растительность степной и лесостепной зон Западной Сибири. Новосибирск, 1963. С. 35–62.

### THE EVOLUTION OF THE VEGETATION COVER OF MEADOWS OF THE FORESTSTEP ZONE

N.P. Mironycheva-Tokareva, S.V. Shibareva

Institute of Soil Science and Agrochemistry of SB RAS, Novosibirsk, nina@issa.nsc.ru

**Summary.** *The article considers the processes of transformation of meadow vegetation of forest-steppe zone within the Novosibirsk region. It is established that the formation and anthropogenic degradation of meadows is carried out on the basis of three initial types of plant communities: steppe, real and forest meadows. At the first stage of anthropogenic degradation, meadow communities are still characterized by a large ecological and phytocenotic diversity, rich floral composition. In the future, the diversity of communities is significantly reduced, at the third stage as a result of convergence are only small grasslands. Meadow communities at the third stage of degradation are low-productive, but have high resistance to pasture load.*

**Keywords:** *meadows, vegetation cover, species diversity, digression, pasture load.*

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА НА ЗАПАСЫ ВЛАГИ В ЧЕРНОЗЕМЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Г.В. Мокриков, М.А. Мясникова, В.П. Солдатов, К.Ш. Казеев

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, kamil\_kazeev@mail.ru

**Аннотация.** Проведено сравнение влияния почвозащитной технологии прямого посева на влажность и запасы влаги в черноземах. Исследования выполнены в сезонной динамике 2017–2018 гг. на 28 полях Октябрьского района Ростовской области. В результате исследований выявлено повышенное содержание влаги в поверхностном и метровом слое почв с прямым посевом. Особенно показателен этот эффект в сухие сезоны наблюдений.

**Ключевые слова:** No-Till, влажность почвы, альтернативные агротехнологии.

No-till (также известный как прямой посев и нулевая обработка) представляет собой систему, в которой сельскохозяйственные культуры посеяны без какого-либо предварительного нарушения почвы культивированием. Повреждение почвы при этом очень незначительные, после чего обычно 30–100% поверхности остается покрытой растительными остатками [1]. Мульчирующий слой растительных остатков создает благоприятные условия для сохранения влаги и повышения биологической активности почв [2-5]. В настоящее время широко признано, что No-till имеет ряд экономических и экологических преимуществ по сравнению с технологией вспашки для подготовки почвы до выращивания сельскохозяйственных культур [6].

Почвообразующий эффект тепла и света может проявляться лишь в том случае, если почвы обеспечены достаточным для жизни растений количеством влаги. Поэтому значение атмосферных осадков в почвообразовании столь же велико, как и значение тепла. Растения чувствительны как к недостатку влаги в почвах, так и к ее избытку [7]. При недостатке влаги падает тургорное давление клеток, теряется их эластичность, резко снижается динамика всех биохимических процессов, сокращается поглощение углекислоты через устьица, в биомассе накапливаются вещества-ингибиторы – все это приводит к падению биологической продуктивности или к полной гибели растений. При избытке влаги у растений нарушается кислородный обмен растения, а в почвах накапливаются ядовитые закисные соединения. Для большинства сельскохозяйственных растений содержание воздуха в почве, обеспечивающее хорошие условия для роста и развития, а также надлежащий газообмен между почвой и атмосферой, равно 20-40% от порозности. Это обеспечивается уровнем влажности почвы, равной 60-80% от наименьшей (полевой) влагоемкости.

**Объекты и методы исследований.** Объектами исследования были почвы агроценозов крупного хозяйства ИП Мокриков В.И. (ранее ООО «Донская Нива»), расположенного в Октябрьском районе Ростовской области. В этом хозяйстве на площади 5,5 тысяч гектар почва в течение 10 лет обрабатывается по технологии прямого посева (No-Till). Традиционная технология с отвальной вспашкой, боронованием, культивациями применяется на контрольных полях, расположенных в непосредственной близости от опытных полей на расстоянии от 30 до 200 м. Это облегчает сравнение применяемых агротехнологий. Всего было исследовано 28 полей с разными выращиваемыми культурами.

Отбор образцов почв производили в апреле, мае, июле, сентябре и октябре 2017 года и апреле, мае и июле 2018 г. Влажность (объемную) почвы определяли в полевых условиях влагомером Fieldscout TDR 100 компании Spectrum Technologies inc. в 10-кратной повторности на каждом участке [8]. Кроме того влажность определяли традиционным термостатно-весовым методом. Расчет запасов влаги производили с использованием данных влажности почвы по профилю до глубины 100 см и используя данные по плотности почв.

**Результаты исследований.** Согласно проведенным исследованиям почвы контрольных и опытных участков диагностированы как черноземы обыкновенные мощные и среднемощные карбонатные и выщелоченные малогумусные и слабогумусированные. Черноземы обыкновенные

венные широко распространены на юге России, где являются основным фондом пахотных земель [9, 10]. Исследования полевой влажности поверхностного слоя почвы, определенной с помощью влагомера (объемно-весовая), зависела от сроков наблюдений. Наиболее влажными сроками исследований в 2017 году были май и апрель. Самый сухой срок наблюдения был, как и следовало ожидать, июль – наиболее жаркий месяц в годы с небольшим количеством выпадающих атмосферных осадков. Осенние месяцы также были сухими, особенно октябрь.

Исследования 2017 года показали большее накопление влаги в поверхностном слое почвы на полях с почвозащитной технологией прямого посева. Особенно это важно в период дефицита влаги после длительного отсутствия дождей. В сентябре и октябре в период посева и начального роста озимой пшеницы поля на участках с прямым посевом характеризовались большей влажностью по сравнению с расположенными рядом контрольными полями. Исключением был только эродированный участок №11. Во влажный период весны влажность почв с разными технологиями обработки была одинаково высокой и практически не различалась на полях с разными агротехнологиями.

Влажность поверхностного слоя почвы в мае 2017 года была на высоком уровне на всех исследуемых полях. Это было связано с большим количеством атмосферных осадков в предшествующий исследованиям период. Разница во влажности почв, в основном, определялась выращиваемой на конкретном поле культурой. На полях с одинаковой выращиваемой культурой, независимо от способа обработки, значения влажности почвы были близкими.

Исследования влажности поверхностного слоя почв, проведенные традиционным термостатно-весовым способом, показали те же закономерности, что и при использовании влагомера. Влажность была на благоприятном для произрастания растений уровне. Закономерности распределения и различия были связаны с вышеописанными причинами.

Кроме определения влажности почв была проведена оценка общих запасов влаги в метровом слое. В результате были получены данные по запасам влаги в контрольных и опытных полях, которые показывают хорошие запасы влаги во всех исследуемых полях. Почвы исследуемой территории характеризуются очень высокой степенью увлажнения. На разных участках отмечены разные варианты по соотношению результатов запасов влаги в зависимости от обработки почв.

Данные о запасах влаги в почвах в течение 2017 года отражают данные о влажности в почвенном профиле. Как было показано выше для влажности поверхностного горизонта, запасы влаги были максимальны в весенний период с обильными осадками: в апреле 240–350 мм, в мае 260–360 мм. В остальные сроки отбора при снижении интенсивности дождей запасы влаги снизились, но оставались на стабильно высоком уровне – 150–230 мм. Различий между сроками наблюдений в июле, сентябре и октябре не было. Так же как и для поверхностного слоя, для запасов влаги в метровом слое почв было выявлено положительное влияние почвозащитной технологии No-Till. Однако такой эффект не был таким однозначным, как для поверхностного слоя. Только на участке №1 отмечено превышение запасов влаги на поле с прямым посевом относительно контрольного поля. На других участках в разные периоды наблюдений значения показателя запасы влаги изменялись разнонаправлено. Значительное понижение показателя в теплый период было зафиксировано на участке №11. Причиной этого, как было неоднократно отмечено ранее, является эродированность почвы опытного поля, находящегося на нижней части склона к балке.

Исследования показали, что в мае 2018 г. запасы влаги были ниже, чем в аналогичных периодах аномально влажного 2017 года. Но даже при меньшем количестве атмосферных осадков в 2018 году в мае запасы влаги в среднем по всем полям были весьма значительны – 284 мм. В июльском сроке наблюдения почвы были в значительной мере иссушены до 197 мм. При этом в большей мере снижение запасов влаги произошло на контрольных полях (181 мм) по сравнению с полями с прямым посевом (209 мм). Даже в тех редких случаях, когда в мае на опытных полях было меньше влаги, чем на контроле (участки № 1 и 6) в июле отмечено обратное явление.

Полученные результаты согласуются с литературными данными, свидетельствующими о преимуществах технологии No-Till в аридных зонах, а также в сухие годы в умеренных широтах. Часто бывают периоды, в течение которых, например, количество осадков может быть значительно выше или ниже среднего. Если исследований проводятся в период «ненормальной» погоды, результаты и их интерпретация могут быть ошибочны (Soane et al., 2012). Исследования, проведенные в аномально влажный 2017 год, гораздо менее показательны по сравнению с более типичными условиями увлажнения 2018 года.

Таким образом, в 2017–2018 годах показано большее накопление и, особенно, сохранение влаги в сухой период в почвах полей с прямым посевом по сравнению с традиционной технологией обработки почв. Влияние почвозащитной технологии прямого посева сохраняется, как для верхнего горизонта, так и для запасов влаги в метровом слое. Особенно это показательно в сухом 2018 году, когда весенне-летнее количество осадков в среднем соответствует среднегодовым значениям.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки РФ (5.5735.2017/8.9) и ведущей научной школы РФ (НШ-3464.2018.11).*

### Литература

1. Soane B.D., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment // Soil & Tillage Research. 2012. V. 118. P. 66–87.
2. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Мясникова М.А., Колесников С.И. Влияние технологии No-Till на эколого-биологическое состояние почв. Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. 140 с.
3. Акименко Ю.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние технологии прямого посева на микробиологические свойства черноземов. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. 96 с.
4. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Влияние технологии прямого посева на эколого-биологические свойства черноземов // Известия Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. 2017. № 2. С. 68–74.
5. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Борисенко Д.В., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Экологическое состояние почв Ростовской области при использовании технологии прямого посева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19, № 2-3. С. 473–477.
6. Tebrugge F. No-tillage visions – protection of soil, water and climate and influence on management and farm income. Conservation Agriculture – A Worldwide Challenge. World Congress on Conservation Agriculture. 2001. Vol. 1. P. 303–316.
7. Вальков В. Ф., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Кузнецов Р.В. Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты. Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального университета, 2008. 416 с.
8. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
9. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Ростовской области. Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2012. 492 с.
10. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Атлас почв Азово-Черноморского бассейна. Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2015. 80 с.

### INFLUENCE OF NO-TILL ON MOISTURE RESERVES OF ROSTOV REGION CHERNOZEM

G.V. Mokrikov, M.A. Myasnikova, V.P. Soldatov, K.Sh. Kazeev

Southern Federal University, Rostov-on-Don, kamil\_kazeev@mail.ru

**Summary.** *The effect of soil protection technology of No-Till on humidity and moisture reserves in chernozems is compared. The research was carried out in the seasonal dynamics of 2017-2018. on 28 fields of the Oktyabrsky district of the Rostov region. The increased moisture content is revealed in the surface and meter layer of soils with direct sowing. This effect is especially significant in dry seasons of study.*

**Keywords:** *No-Till, soil moisture, alternative agrotechnology.*

## АНАЛИЗ ФИТОТОКСИЧНОСТИ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА ПОСЛЕ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И НЕФТЬЮ

**Д.И. Мощенко, М.С. Ткачева, Р.Р. Карапетян, С.И. Колесников**

Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского,  
Ростов-на-Дону, dimoshenko@sfnedu.ru

**Аннотация.** В статье приведены сведения о влиянии загрязнителей, таких как *Cu*, *Cr*, *Ni*, *Pb* и нефть, на показатели фитотоксичности чернозема обыкновенного Центрального Кавказа.

**Ключевые слова:** чернозем обыкновенный, анализ фитотоксичности, Юг России.

Черноземы обыкновенные занимают на Юге России значительные территории и различаются по своим свойствам, а, следовательно, и по устойчивости к химическому загрязнению [1,2]. Ранее была исследована устойчивость к химическому загрязнению черноземов обыкновенных Северного Приазовья, Предкавказья, Крыма, Западного Кавказа [3-14].

Цель настоящей исследовательской работы – провести анализ фитотоксичности чернозема обыкновенного Центрального Кавказа в условиях химического загрязнения и сравнить устойчивость чернозема обыкновенного Центрального Кавказа с аналогичными черноземами Северного Приазовья, Предкавказья, Крыма, Западного Кавказа.

Химическое загрязнение почвы моделировали в лабораторных условиях. Корректность переноса результатов лабораторного моделирования химического загрязнения почв в натурные условия была установлена предшествующими исследованиями [9,15,16].

Почву загрязняли разными концентрациями загрязняющих веществ: тяжелыми металлами (ТМ) – 1, 10, 100 ПДК (100, 1000 и 10000 мг/кг соответственно) и нефтью – 1, 5, 10 % от массы почвы. ТМ вносили в почву в форме оксидов:  $CuO$ ,  $CrO_3$ ,  $NiO$ ,  $PbO$ .

Почву инкубировали в вегетационных сосудах при комнатной температуре (20–22°C) и оптимальном увлажнении (60% от полевой влагоемкости) в двукратной повторности. Образцы для лабораторно-аналитического исследования отобрали через 30 дней после загрязнения.

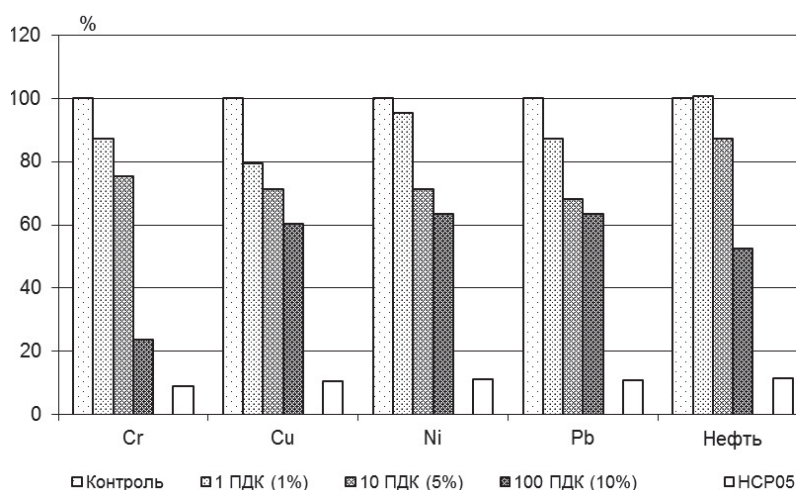


Рис. 1. Влияние химического загрязнения чернозема обыкновенного на всхожесть редиса, % от контроля (ПДК – для ТМ, % – для нефти)

Анализ фитотоксичности (общая всхожесть семян, энергия и скорость их прорастания, длина корней проростков) проводился на тест-объекте — редисе с учетом требований к его проращиванию в двукратной повторности [17].



По результатам анализа установлено, повышение концентрации тяжелых металлов в почве способствует угнетению всхожести редиса. При исследовании действия тяжелых металлов на биологические свойства почвы наблюдалось снижение показателей фитотоксичности. Из тяжелых металлов наиболее токсичным оказался Cr, наименее токсичным — Ni.

Снижение фитотоксических показателей зависит от природы загрязняющего вещества и концентрации тяжелых металлов и нефти, вносимых в почву.

По силе влияния на всхожесть редиса в черноземе обыкновенном ТМ образуют следующий ряд: Cr > Cu > Pb ≥ Ni (рис. 1).

Аналогичные результаты были получены в экспериментах с черноземами обыкновенными Северного Приазовья, Предкавказья, Крыма, Западного Кавказа [3-5, 7-10, 14, 18-21].

Сравнительная оценка показала большую устойчивость к загрязнению нефтью и ТМ показатели фитотоксичности чернозема обыкновенного Центрального Кавказа относительно других черноземов Юга России [22].

*Исследование выполнено при поддержке государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-3464.2018.11) и Министерства образования и науки Российской Федерации (5.5735.2017/8.9).*

### Литература

1. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы юга России: генезис, география, классификация, использование и охрана. Ростов н/Д: Эверест, 2008. 292 с.
2. Черноземы СССР (Предкавказье и Кавказ). М.: Агропромиздат, 1985. 262 с.
3. Вальков В.Ф., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Ташиев С.С. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на микроскопические грибы и *Azotobacter* чернозема обыкновенного // Экология. 1997. № 5. С. 388–390.
4. Жаркова М.Г., Колесников С.И. Установление экологически безопасной концентрации свинца в черноземе обыкновенном // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2008. № 5. С. 89–92.
5. Колесников С.И. Агроэкологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. Ростов н/Д, 2001. 329 с.
6. Колесников С.И. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на биологическую активность черноземов обыкновенных Северного Приазовья и Западного Предкавказья: автореф. дис. ... канд. географ. наук. Ростов н/Д, 1998. 24 с.
7. Колесников С.И., Евреинова А.В., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Изменение эколого-биологических свойств чернозема при загрязнении тяжелыми металлами второго класса опасности (Mo, Co, Cr, Ni) // Почвоведение. 2009. № 8. С. 1007–1013.
8. Колесников С.И., Жаркова М.Г. Влияние загрязнения чернозема обыкновенного свинцом и нефтью на рост и развитие озимой пшеницы // Агрохимия. 2010. № 6. С. 69–72.
9. Колесников С.И., Жаркова М.Г., Кутузова И.В., Молчанова Е.В., Зубков Д.А., Казеев К.Ш. Биологические свойства чернозема обыкновенного в полевом опыте при загрязнении свинцом // Агрохимия. 2012. № 8. С. 3–8.
10. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Велигонова Н.В., Патрушева Е.В., Татосян М.Л., Азнаурьян Д.К., Вальков В.Ф. Изменение комплекса почвенных микроорганизмов при загрязнении чернозема обыкновенного нефтью и нефтепродуктами // Агрохимия. 2007. № 12. С. 44–48.
11. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Татлок Р.К., Тлехас З.Р., Денисова Т.В., Даденко Е.В. Биодиагностика устойчивости бурых лесных почв Западного Кавказа к загрязнению тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами // Сибирский экологический журнал. 2014. № 3. С. 493–500.
12. Колесников С.И., Коваленко В.Д., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на содержание в черноземе обыкновенном подвижных форм азота и фосфора // Агрохимия. 1999. № 2. С. 73–78.
13. Колесников С.И., Попович А.А., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения фтором, бором, селеном, мышьяком на биологические свойства чернозема обыкновенного // Почвоведение. 2008. № 4. С. 448–453.
14. Ярославцев М.В., Колесников С.И. Оценка устойчивости черноземов юга России к загрязнению тяжелыми металлами по биологическим показателям // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2011. № 4. С. 83–86.

15. Колесников С.И., Жаркова М.Г., Кутузова И.В., Казеев К.Ш. Сопоставление результатов лабораторного и полевого моделирования химического загрязнения почв // *Агрохимия*. 2013. № 5. С. 86–94.
16. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия в черноземе обыкновенном // *Агрохимия*. 2001. № 9. С. 54–59.
17. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2012. 260 с.
18. Колесников С.И. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на биологическую активность черноземов обыкновенных Северного Приазовья и Западного Предкавказья // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. 1998. № 4. С. 99–101.
19. Колесников С.И., Пономарева С.В., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Биологические свойства чернозема обыкновенного при загрязнении Ва, Мп, Sb, Sn, Sr, V, W // *Агрохимия*. 2011. № 1. С. 81–89.
20. Колесников С.И., Пономарева С.В., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения Ва, Мп, Sb, Sn, Sr, V, W на фитотоксичность чернозема // *Агрохимия*. 2009. № 8. С. 49–53.
21. Колесников С.И., Татосян М.Л., Азнаурьян Д.К. Изменение ферментативной активности чернозема обыкновенного при загрязнении нефтью и нефтепродуктами в условиях модельного эксперимента // *Доклады РАСХН*. 2007. № 5. С. 32–34.
22. Колесников С.И., Ярославцев М.В., Спивакова Н.А., Казеев К.Ш. Сравнительная оценка устойчивости биологических свойств разных подтипов черноземов юга России к загрязнению Cr, Cu, Ni, Pb (в модельном эксперименте) // *Почвоведение*. 2013. № 2. С. 195–200.

#### **ANALYSIS OF PHYTOTOXICITY OF BLACK EARTH CENTRAL CAUCASUS AFTER CHEMICAL POLLUTION BY HEAVY METALS AND OIL**

D.I. Moschenko, M.S. Tkacheva, R.R. Karapetyan, S.I. Kolesnikov

Southern Federal University, Academy of Biology and Biotechnology. DI. Ivanovskogo, Rostov-on-Don, dimoshenko@sfedu.ru

**Summary.** *The article contains information on the effect of pollutants, such as Cu, Cr, Ni, Pb and oil on the phytotoxicity of black earth in the Central Caucasus.*

**Keywords:** *black earth, phytotoxicity analysis, the South of Russia.*

## ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕОДИМА НА РАСТЕНИЯ ОВСА (*AVENA SATIVA* L.) И ГОРОХА (*PISUM SATIVUM* L.) ПРИ ВНЕСЕНИИ В ПОЧВУ

М.Е. Муратова<sup>1</sup>, А.Д. Котельникова<sup>1,2</sup>, И.А. Фастовец<sup>2</sup>, О.Б. Рогова<sup>2</sup>, В.В. Столбова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, frau.muratova@gmail.com

<sup>2</sup> ФГБНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, a.d.kotelnikova@gmail.com

<sup>3</sup> Сколковский институт науки и технологий, Москва, fastovetsilya@yandex.ru

**Аннотация.** *Активное хозяйственное использование любых элементов, приводящее к увеличению их концентрации в окружающей среде, требует оценки их влияния на живые организмы. Редкоземельные элементы, в том числе лантаноиды, стали играть значительную роль в развитии экономики. Неизбежный рост загрязнения обуславливает необходимость всестороннего изучения этих элементов. При этом не выработано однозначного мнения о характере воздействия редкоземельных элементов (РЗЭ). Противоречивые результаты работ, посвященных оценке токсичности РЗЭ делает актуальными исследования в данной области, особенно при внесении РЗЭ в почву. В настоящей работе проводилось тестирование одного из представителей группы лантаноидов – неодима- с применением стандартизированной методики по ГОСТ Р ИСО 22030-2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений». Опыты проводили с использованием двух видов растений – овес обыкновенный (*Avena sativa* L.) и горох посевной (*Pisum sativum* L.). Растения выращивали на дерново-подзолистой почве с внесением неодима в концентрациях 0, 10, 20, 50, 100 и 200 мг/кг. Значительных изменений в ростовых и репродуктивных показателях не обнаружено. При этом можно отметить тренды на увеличение надземной фитомассы и длины растений ячменя. Последнее может расцениваться как проявление токсичности в отношении высших растений внесенного в почву неодима в изученных концентрациях.*

**Ключевые слова:** *лантаноиды, редкоземельные элементы, биотестирование, фитотоксичность, вегетационный опыт.*

Лантаноиды – металлы, входящие в группу редкоземельных элементов (РЗЭ). В настоящее время они нашли применение в самых разных отраслях экономики, возможность их использования является одним из определяющих факторов для развития любой страны [1]. Столь высокая значимость определяет увеличение объемов добычи РЗЭ и, как следствие, роста их содержания в окружающей среде. В сельском хозяйстве ряда азиатских стран лантаноиды активно применяются в качестве микроудобрений последние десятилетия [2]. Также они могут поступать в почву с применением фосфорных удобрений, которые часто содержат значительные количества РЗЭ [3, 4]. Такое активное использование неминуемо ведет к росту загрязнения почвы и сопредельных сред лантаноидами [5].

Несмотря на активное использование и изучение РЗЭ, остается не до конца выясненным характер их воздействия на живые организмы [6]. Часть исследователей отмечают положительное влияние лантаноидов на рост и развитие растений, что и позволило использовать их в качестве микроудобрений. Но существует множество работ, показывающих токсичное действие данных металлов. При этом исследований, в которых бы оценивалась токсичность непосредственно почв, а не растворов, явно недостаточно [7]. Также важной задачей является оценка токсичности лантаноидов с помощью стандартизированных методик, позволяющих сравнивать результаты исследований разных авторов, так как причиной разногласия в выводах часто являются различия в постановке и проведении экспериментов, выборе тест-объектов. Поэтому целью данной работы было оценить воздействие одного из представителей РЗЭ – неодима – на ростовые и репродуктивные показатели высших растений с применением стандартизированного метода.

**Объекты и методы исследования.** В данной работе для оценки воздействия неодима на рост и развитие растений мы использовали стандартизированную методику по ГОСТ Р ИСО 22030-2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений» идентичный международному стандарту ISO 22030:2005 «Soil

quality. Biological methods. Chronic toxicity in higher plants» [8]. Для тестирования использовали два вида растений: однодольное – овес обыкновенный (*Avena sativa* L.) сорта «Скакун», двудольное – горох посевной (*Pisum sativum* L.) сорта «Алтайский изумруд». Семена проращивали на дерново-подзолистой почве. Условия тестирования подробно описаны в стандарте. В почву вносили следующие концентрации хлорида неодима: 0 (контроль, фоновое содержание неодима), 10, 20, 50, 100, 200 мг/кг. Тестирование производилось в четырехкратной повторности для каждой изучаемой концентрации. В конце тестирования измеряли длину и массу растений, затем растения высушивали и измеряли сухую массу.

Результаты тестирования статистически обрабатывались с применением рангового дисперсионного анализа Крускала–Уоллиса.

**Обсуждение результатов.** В результате тестирования были получены данные по следующим показателям: длина и масса растений на 14-й день тестирования (только для овса), длина растений в конце тестирования, масса растений без цветков и стручков в конце тестирования, масса сухих растений, масса цветков и стручков в конце тестирования, масса сухих цветков и стручков.

Для растений овса, собранных на 14-й день опыта отмечается тренд на увеличение длины и массы, но статистической значимости разница между вариантами опыта не достигает.

Для растений овса, собранных в конце эксперимента, также наблюдается тренд на увеличение длины и массы. При этом статистически значимо только увеличение массы растений в варианте опыта с внесением неодима в концентрации 200 мг/кг по сравнению с контрольным вариантом.

Значимых изменений в количестве цветков овса и их массе не обнаружено.

По результатам тестирования с растениями гороха никаких значимых изменений в изучаемых показателях не обнаружено.

Таким образом, по результатам проведенных нами экспериментов, можно говорить скорее об отсутствии влияния неодима в изученных концентрациях при внесении в почву на рост и репродуктивные показатели растений. Ранее в ряде работ отмечалась способность лантаноидов увеличивать биомассу растений [9]. Отмечены также и противоположные эффекты [10, 11]. Негативное воздействие неодима на растения при внесении в почву, по-видимому, может проявляться при более высоких концентрациях (более 200 мг/кг) [12].

Наблюдаемые нами тренды на незначительное увеличение длины и массы растений в точки зрения контроля почв могут расцениваться и как негативное воздействие лантаноидов. Подобное увеличение биомассы может происходить за счет транслокационных эффектов накопления в тканях растений тяжелых элементов, таких как РЗЭ. Способность некоторых лантаноидов накапливаться в надземной фитомассе была показана в других работах, в том числе в наших исследованиях с растениями ячменя. Накопление потенциально опасных элементов может негативно сказываться на организмах, потребляющих эти растения. Увеличение длины тест-растений может быть обусловлено изменениями в функционировании их ферментных систем и ростовых гормонов и являться стрессовым откликом на внесение неодима в почву.

**Выводы.** Таким образом, в нашей работе не отмечено значимых изменений в ростовых и репродуктивных показателях растений овса и гороха. При этом стоит обратить внимание на тренды к увеличению надземной массы и длины растений ячменя, что может говорить о проявлении токсического воздействия неодима на тест-растения при внесении его в почву в изученных концентрациях.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-316-00026.*

## Литература

1. Catinat M. Critical Raw Materials for the EU – Report of the Ad-Hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials // EC, Brussels, Belgium. 2010.

2. Liang T., Zhang S., Wang L., Kung H.-T., Wang Y., Hu A., Ding S. Environmental biogeochemical behaviors of rare earth elements in soil–plant systems // *Environmental Geochemistry and Health*. 2005. V. 27, №4. P. 301–311.
3. Hu Z., Haneklaus S., Sparovek G., Schnug E. Rare earth elements in soils // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2006. V. 37, № 9–10. P. 1381–1420.
4. Sadeghi M., Petrosino P., Ladenberger A., Albanese S., Andersson M., Morris G., ... De Vivo B. Ce, La and Y concentrations in agricultural and grazing-land soils of Europe // *Journal of geochemical exploration*. 2013. V. 133. P. 202–213.
5. Anawar H., Freitas M. D., Canha N., Dionísio I., Dung H., Galinha C., Pacheco A. Assessment of bioaccumulation of REEs by plant species in a mining area by INAA // *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*. 2012. V. 294, № 3. P. 377–381.
6. Gonzalez V., Vignati D.A., Leyval C., Giamberini L. Environmental fate and ecotoxicity of lanthanides: are they a uniform group beyond chemistry? // *Environment international*. 2014. V. 71. P. 148–157.
7. Ramos S.J., Dinali G.S., Oliveira C., Martins G.C., Moreira C.G., Siqueira J.O., Guilherme L.R.G. Rare earth elements in the soil environment // *Current Pollution Reports*. 2016. V. 2, № 1. P. 28–50.
8. РИСО Г. 22030–2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. Введ. 2010–01. М.: Изд-во стандартов, 2009.
9. de Oliveira C., Ramos S.J., Siqueira J.O., Faquin V., de Castro E.M., Amaral D.C., ... Schnug E. Bioaccumulation and effects of lanthanum on growth and mitotic index in soybean plants // *Ecotoxicology and environmental safety*. 2015. V. 122. P. 136–144.
10. d'Aquino L., De Pinto M. C., Nardi L., Morgana M., Tommasi F. Effect of some light rare earth elements on seed germination, seedling growth and antioxidant metabolism in *Triticum durum* // *Chemosphere*. 2009. V. 75, № 7. P. 900–905.
11. von Tucher S., Schmidhalter U. Lanthanum uptake from soil and nutrient solution and its effects on plant growth // *Journal of plant nutrition and soil science*. 2005. V. 168, № 4. P. 574–580.
12. Carpenter D., Boutin C., Allison J.E., Parsons J.L., Ellis D.M. Uptake and effects of six rare earth elements (REEs) on selected native and crop species growing in contaminated soils // *PLoS One*. 2015. V. 10. № 6. P. e0129936.

### **IMPACT OF NEODYMIUM APPLICATED TO THE SOIL ON OAT (*AVENA SATIVA* L.) AND PEA (*PISUM SATIVUM* L.)**

M.E. Muratova<sup>1</sup>, A.D. Kotelnikova<sup>1,2</sup>, I.A. Fastovets<sup>2</sup>, O.B. Rogova<sup>2</sup>, V.V. Stolbova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow, frau.muratova@gmail.com

<sup>2</sup> Dokuchaev Soil Science Institute, Russia, Moscow, a.d.kotelnikova@gmail.com

<sup>3</sup>Skolkovo Institute of Science and Technology, Russia, Moscow, fastovetsilya@yandex.ru

**Summary.** *Active economic use of any elements, leading to an increase in their concentration in the environment, requires an assessment of their effect on living organisms. Rare-earth elements, including lanthanides, began to play a significant role in the development of the economy. The inevitable growth of pollution causes the need for a comprehensive study of these elements. At the same time, there is no unambiguous opinion on the nature of the action of rare-earth elements (REEs). The contradictory results of studies on the toxicity of REEs make research in this field relevant, especially when REEs were applied to the soil. In the present study, one of the lanthanide group representatives, neodymium, was tested using a standardized methodology in accordance with GOST R ISO 22030-2009 "Soil quality. Biological methods. Chronic phytotoxicity in relation to higher plants." The experiments were carried out using two species of plants: oats (*Avena sativa* L.) and peas (*Pisum sativum* L.). Plants were grown on sod-podzolic soil with neodymium in concentrations of 0, 10, 20, 50, 100 and 200 mg / kg. Significant changes in growth and reproductive rates were not detected. At the same time, it is necessary to note trends in the increase of the aboveground phytomass and the length of barley plants. The latter can be regarded as an evidence of neodymium toxicity introduced into the soil in studied concentrations in relation to higher plants.*

**Keywords:** *lanthanides, rare earth elements, biotesting, phytotoxicity, vegetation experiment.*

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ НА СРЕДНЕМ И ЮЖНОМ УРАЛЕ

О.А. Некрасова, А.П. Учаев

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург,  
o\_nekr@mail.ru

**Аннотация.** *Обсуждаются характеристики группового и фракционного состава гумуса почв разных условий формирования Среднего и Южного Урала. Приведены пределы варьирования показателей качественного состава гумуса современных бурых горно-лесных, дерново-подзолистых, серых лесных почв и черноземов. Выявлена экологическая обусловленность состава гумуса почв Урала разных условий формирования, что будет в конечном итоге способствовать решению проблемы восстановления нарушенных земель.*

**Ключевые слова:** *почвы, групповой и фракционный состав гумуса, климат, Урал.*

Золоотвалы тепловых электростанций, представляющие собой одну из форм нарушения целостности ландшафта, занимают большие площади на Урале и являются источником загрязнения различных природных сред, снижающим свое негативное воздействие в процессе формирования на них почвенного покрова. Для прогнозирования скорости восстановления техногенных экосистем требуется выявление закономерностей формирования системы гумусовых веществ [1], являющейся важным пулом таких биогенных элементов как углерод и азот. Для оценки накопления С и N в органических компонентах формирующихся эмбриоземов, определяемым, по последним данным [2], соотношением в почве деструкторов и микоризообразующих грибов, необходимы характеристики гумуса фоновых почв, распространенных на территориях расположения золоотвалов. Сотрудниками Уральского федерального университета в течение почти 60 лет ведутся мониторинговые исследования формирующихся на золоотвалах экосистем и их эмбриоземов на Верхнетагильской, Среднеуральской и Южноуральской ГРЭС [3], расположенных на Среднем и Южном Урале (соответственно в Свердловской и Челябинской областях). Фоновыми для территории расположения первых двух объектов являются дерново-подзолистые и бурые горно-лесные почвы, для последнего – серые лесные почвы и черноземы выщелоченные.

В связи с этим в данной публикации дается фактологический анализ статистически значимых материалов состава гумуса нескольких типов почв Среднего и Южного Урала с целью выявления эколого-гумусовых связей и использования их в качестве основы при изучении процессов восстановления нарушенных земель.

Территории распространения рассматриваемых почв Урала характеризуются индивидуальными пределами изменений основных климатических параметров (табл. 1).

Как показывают данные табл. 1, для представленного ряда почв (бурые горно-лесные, дерново-подзолистые, серые лесные, черноземы выщелоченные) в целом характерно закономерное увеличение среднегодовой температуры воздуха, суммы температур выше 10 °С и периода биологической активности, а также уменьшение среднегодовых осадков и гидротермического коэффициента. Однако характеристики бурых горно-лесных и дерново-подзолистых почв перекрываются, что объясняется их функционированием в пределах единых биоклиматических рубежей [6].

Собственные и литературные данные изучения 10-см верхней толщи гумусовых горизонтов почв, в наибольшей степени адекватной современным биоклиматическим условиям их формирования, полученные по методике Пономаревой-Плотниковой [7], являющейся наиболее информативной и надежной, обобщены в табл. 2.

Анализ данных по качественному составу гумуса почв Южного и Среднего Урала позволил выявить специфические особенности состава гумуса почв территории, к которой приурочено местоположение золоотвалов.

**Климатические характеристики территорий распространения современных почв  
Южного и Среднего Урала [4, 5]**

Климатическая характеристика	Почвы			
	Бурые горно-лесные	Дерново-подзолистые	Серые лесные	Черноземы выщелоченные
Среднегодовая $t$ воздуха, °С	0,4–0,8	0,7–0,9	1,0–1,6	2,0–2,9
$\Sigma$ температур $> 10^\circ\text{C}$	1600–1800	1640–1850	1830–2020	2050–2200
Среднегодовые осадки, мм	580–630	540–580	490–530	440–500
Период биологической активности, дни	108–116	112–120	120–128	127–133
Гидротермический коэффициент	1,4–1,7	1,4–1,6	1,2–1,4	0,8–0,9

Выявлено, что в составе гумуса бурых горно-лесных почв (табл. 2) наибольшую долю среди фракций гуминовых кислот занимают свободные и связанные с подвижными полуторными оксидами (ГК1), которые составляют около 16%, меньшую долю – около 8% – связанные с глинистыми частицами ГК (фракция, в дальнейшем фр. 3), в минимальных количествах представлены черные гуминовые кислоты (фр. 2). Доля фульвокислот составляет около 30%. Отношение Сгк:Сфк в среднем равно  $0,86 \pm 0,15$ , что соответствует гуматно-фульватному типу гумуса.

Таблица 2

**Групповой и фракционный состав гумуса почв Урала (% к общему органическому углероду)**

Показатели	С <sub>общ.</sub> , %	Фракции гуминовых кислот			$\Sigma$ ГК	Фракции фульвокислот				$\Sigma$ ФК	Гумины	Сгк:Сфк
		ГК1	ГК2	ГК3		ФК1а	ФК1	ФК2	ФК3			
Бурые горно-лесные почвы (n=58)												
$\bar{x}^*$	5,22	15,7	3,2	7,9	26,6	4,9	12,9	6,0	7,9	31,1	41,2	0,86
$s^{**}$	2,30	4,1	3,1	3,4	5,6	3,0	6,0	3,6	3,6	7,0	10,9	0,15
Дерново-подзолистые почвы (n=24)												
$\bar{x}$	4,08	16,9	2,2	4,5	24,5	3,6	15,7	9,2	4,0	33,2	42,9	0,74
s	1,46	6,2	2,1	3,3	6,2	1,5	4,7	6,6	3,1	9,6	16,2	0,13
Серые лесные почвы (n=13)												
$\bar{x}$	5,30	12,1	9,1	6,1	28,5	3,7	9,8	4,2	4,2	22,4	48,8	1,29
s	2,43	7,7	3,9	2,9	8,9	1,8	4,5	3,3	3,7	7,6	16,6	0,15
Черноземы выщелоченные (n=10)												
$\bar{x}$	5,76	10,1	18,8	8,3	40,3	1,3	7,0	7,5	4,0	20,4	45,5	1,97
s	1,56	3,0	5,4	0,8	7,4	0,2	1,9	2,0	2,2	3,1	4,0	0,18

\* – среднее значение, \*\* – стандартное отклонение.

Дерново-подзолистые почвы (см. табл. 2) близки по составу гумуса к бурым горно-лесным, что выражается в сходном суммарном содержании гуминовых кислот и фульвокислот и отображается в относительно близких значениях интегрального показателя состава гумуса –  $0,74 \pm 0,13$ , позволяющего также отнести его к гуматно-фульватному типу. В силу хорошего дренажа, которым характеризуются условия формирования бурых горно-лесных почв и близостью температурных показателей с территорией распространения дерново-подзолистых почв, бурые горно-лесные и дерново-подзолистые почвы имеют очень близкий состав гумуса.

Гумус серых лесных почв (см. табл. 2) отличается от рассмотренных выше тем, что характеризуется повышенным содержанием связанных с кальцием ГК и в связи с этим – суммарным содержанием гуминовых кислот, а также меньшей долей среди фульвокислот фракции ФК1 и более низким суммарным содержанием группы фульвокислот. Интегральный показате-

тель состава гумуса в среднем составляет  $1,29 \pm 0,15$ , что соответствует фульватно-гуматному типу гумуса.

В черноземах выщелоченных (см. табл. 2) в составе гуминовых кислот преобладают черные гуминовые кислоты (фр. ГК2), составляющие в среднем в составе гумуса около 19% от общего органического углерода. Меньшие доли, близкие количественно, приходится на гуминовые кислоты фр. 1 (10%) и фр. 3 (8%), тогда как фульвокислоты в среднем составляют около 20%. Отношение Сгк:Сфк колеблется около 2,0 ( $1,97 \pm 0,18$ ), что соответствует гуматному типу гумуса.

Таким образом, гумус современных почв Южного и Среднего Урала, формирующихся в разных природно-климатических условиях, имеет специфические особенности группового и фракционного состава. Близость показателей состава гумуса бурых горно-лесных и дерново-подзолистых почв является отражением сходства их термо- и влагообеспеченности.

Установленные пределы изменения параметров качественного состава гумуса могут способствовать осуществлению мониторинговых исследований формирующихся на антропогенно-нарушенных территориях почв и в конечном итоге решению проблемы восстановления нарушенных земель.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-04-00714.*

### Литература

1. Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика. Новосибирск: Наука, 1984. 155 с.
2. Averill C., Turner B.L., Finzi A.C. Mycorrhiza-mediated competition between plants and decomposers drives soil carbon storage // *Nature*. 2014. Vol. 505. P. 543–546.
3. Махнев А.К., Чибрик Т.С., Трубина М.Р., Лукина Н.В., Гебель Н.Э., Терин А.А., Еловиков Ю.И., Топорков Н.В. Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 356 с.
4. Справочник по климату СССР. Вып. 9, ч. 2. Температура воздуха и почвы. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1965. 363 с.
5. Справочник по климату СССР. Вып. 9, ч. 4. Влажность воздуха и осадки. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1968. 372 с.
6. Некрасова О.А., Дергачева О.А., Учаев А.П. К рецентной основе палеоэкологических реконструкций по гумусу палеопочв Урала // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2017. № 12 (212). С. 18–21.
7. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Методика и некоторые результаты фракционирования гумуса черноземов // *Почвоведение*. 1968. № 11. С. 104–117.

### ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF HUMUS SUBSTANCES FORMATION IN THE MIDDLE AND SOUTHERN URALS

O.A. Nekrasova, A.P. Uchaev

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, o\_nekr@mail.ru

**Summary.** *The characteristics of humus group and fractional composition of different formation condition soils of the Middle and Southern Urals are discussed. The limits of variation of the qualitative composition of humus indicators of modern brown mountain-forest, sod-podzolic, gray forest soils and chernozems are given. The ecological conditions of humus composition of Ural soils of different formation conditions has been revealed that will ultimately contribute to solving the problem of restoring disturbed lands.*

**Keywords:** *soil, group and fractional composition of humus, climate, Urals.*



## ВЛИЯНИЕ СТЕПНОГО ПОЖАРА НА АКТИВНОСТЬ ПОЧВЕННЫХ ДЕГИДРОГЕНАЗ

М.Ю. Одабашян, А.В. Трушков, К.Ш. Казеев

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, m.odabashyan@mail.ru

**Аннотация.** *Представлены результаты исследований активности дегидрогеназ после степного пожара в Ростовской области. Было исследовано три различающихся по степени пирогенного воздействия участка. В ходе проведенного исследования было выявлено снижение активности дегидрогеназ в постпирогенных почвах. Снижение активности зависело от интенсивности воздействия, на участке с беглым пожаром ингибирование активности составило 22,2 %, на участке с устойчивым пожаром – на 31,6% от контрольных значений.*

**Ключевые слова:** *пирогенный фактор, степной пожар, дегидрогеназа, ферментативная активность, чернозем.*

В настоящее время наблюдается увеличение вспышек пожара, в частности, лесных и степных. С каждым годом площадь постпирогенных почв растет во всем мире. В США с 1 января по 22 декабря 2017 года произошло 66,131 лесных пожаров, как сообщает Национальный межведомственный пожарный центр. В 2017 году в США сгорело около 3,92 млн га леса [1]. Сильные природные пожары наблюдались в республиках Башкортостан, Татарстан, Марий Эл, Чувашия, Удмуртия и Мордовия, в Москве, Свердловске, Кирове, Твери, Калуге, Оренбурге, Волгоградская, Самарская, Саратовская, Ульяновская, Челябинская и Курганская области. Площадь огня превысила 8 млн га в Европейской части России в 2010 году [2]. Лесные пожары коренным образом меняют эдафические условия, а, следовательно, и микробиологические, и биохимические процессы в почве, и связи с этим происходит нарушение циклов основных элементов почвы: углерода и азота [3]. Количество питательных веществ, таких как (C, N, S) уменьшается, а содержание минеральных питательных веществ увеличивается [3]. Лесные пожары являются мощным фактором деградации лесов в Центральной России. Природные пожары привели к серьезным экономическим и экологическим проблемам в отдельных регионах страны [4].

Понимание и определение процесса влияния пожара на свойства почв очень важно для дальнейшей оценки экологического состояния почв. Выявлено, что почва под кустами более устойчива к пожару, нежели оголенная почва без растительности [5]. Ральф Бёрнер (Ralph EJ Boerner) с соавторами после пожара в дубовом лесу исследовали активность 4 ферментов: кислотной фосфатазы,  $\beta$ - глюкозидазы, хитиназы и фенолоксидазы. Активность фосфатазы заметно снизилась после лесного пожара, постпирогенная  $\beta$ -глюкозидаза мало отличалась от контрольного образца. Активность хитиназы увеличивалась после пожара пропорционально интенсивности огня. Активность фенолоксидазы сильно варьировала и плохо коррелировала с интенсивностью пожара [6]. Пожар изменяет характер поверхностного органического комплекса имея большое влияние на ферментативную активность почвы [6].

Целью настоящего исследования являлось изучение влияния степного пожара на активность дегидрогеназ черноземов Ростовской области.

После воздействия пожара уменьшается численность почвенных беспозвоночных, наиболее сильно сокращается численность дождевых червей, моллюсков, котянок [7]. В ходе исследований В.Ф. Валькова с соавторами [8] установлено, что сжигание пожнивных остатков после уборки урожая приводит к сокращению почвенных беспозвоночных. Сжигание пожнивных остатков повлекло за собой не только катастрофическое уменьшение численности микрофлоры, но и резкое снижение интенсивности дыхания. Из слоя почвы 0–5 см выделение  $\text{CO}_2$  не было обнаружено; слабое проявление зафиксировано в нижележащих горизонтах. Оголенный поверхностный слой почвы после пожара под влиянием ударов дождевых капель теряет пористость и заливается [9], обнажение минеральной поверхности приводит к по-

верхностному смыву слабо связного минерального материала [10]. В почвах, обладающих структурным комковатым перегнойным слоем, сгорание перегноя приводит к обесструктурированию, распаду структурных отдельностей. Содержание водоустойчивых агрегатов в слое (0–30 см) уменьшается после пожаров в 2 раза [11]. Одновременно при действии высокой температуры мелкие частицы (пыль, глина) спекаются, образуя прочные комочки, трудно поддающиеся разрушению. Исследователи отмечают заметное увеличение плотности почвы под влиянием огня (до 2,5 раз), увеличение гидрофобности, снижение водопроницаемости и воздухообмена. Резкое уменьшение водо- и воздухопроницаемости увеличивает поверхностный сток; часто ведет к заболачиванию [12]. Для территорий с почвами легкого механического состава влияние пожаров на почвы многократно превышает влияние земледелия. Более высокая по сравнению с суглинистыми почвами скорость смыва, большая водо- и воздухопроницаемость обуславливают здесь быстрые потери гумуса.

**Объекты и методы исследования.** Объект исследования – чернозем обыкновенный (террасовый), исследованный около хутор Александровка Аксайского района Ростовской области (рис. 1).

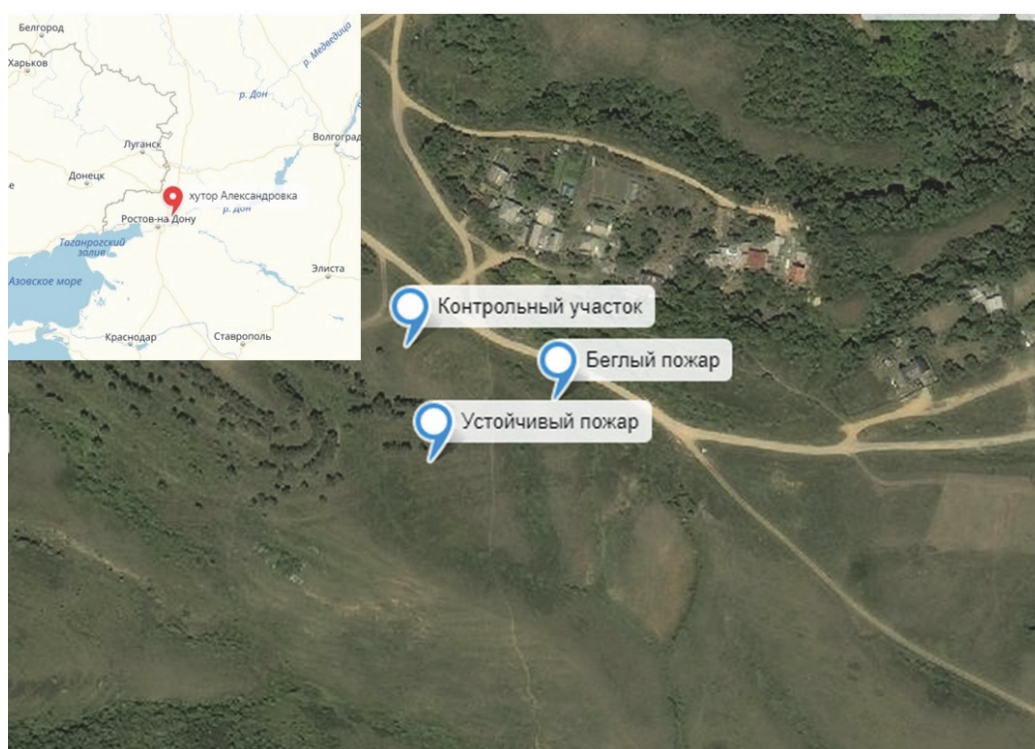


Рис. 1. Местоположение объектов исследований

Опыты проводились 29 сентября 2017 года. Почвенные образцы для лабораторно-аналитических исследований отбирали из верхнего слоя (0–5 см) через 4 дня после степного пожара. В опыте было 3 варианта. Вариант № 1 был контрольным (не подвергался пирогенному воздействию), на варианте № 2- почва подверглась слабому беглому пожару, а на варианте №3 – более интенсивный и устойчивый пожар с большим количеством золы на поверхности почвы. Активность дегидрогеназ измеряли методом А.Ш. Галстяна [13]. Исследования проводили в трехкратной повторности.

**Результаты исследований.** В результате исследования установлено, что активность дегидрогеназ в верхнем слое (0–5 см) почвы контрольного участка составила 64,3 мг ТТФ/100г/24 часа. В чернозёме после степного пожара активность дегидрогеназы снизилась. На участке с беглым пожаром активность фермента составила – 50 мг ТТФ (активность снизилась на 22,2%), на участке с интенсивным пожаром активность фермента составила – 44 мг ТТФ (активность снизилась на 31,6%) (рис. 2). Пирогенный фактор снизил активность де-

гидрогеназы, ингибирование активности зависит от мощности и интенсивности огня, чем сильнее пожар, тем ниже активность дегидрогеназы.

Аналогичные результаты реакции почвенных оксидоредуктаз были получены авторами и ранее при исследовании палов и пожаров на разных почвах юга России [14-17]. Последствия пирогенного воздействия снижаются со временем после проявления эффекта. Однако понижение биологической активности сохраняются месяцами, если пожары были степными или в случае сельскохозяйственных палов. При лесных пожарах в случае высокой интенсивности огня, восстановления биологических параметров почв может не наступить и спустя годы после пирогенного воздействия.

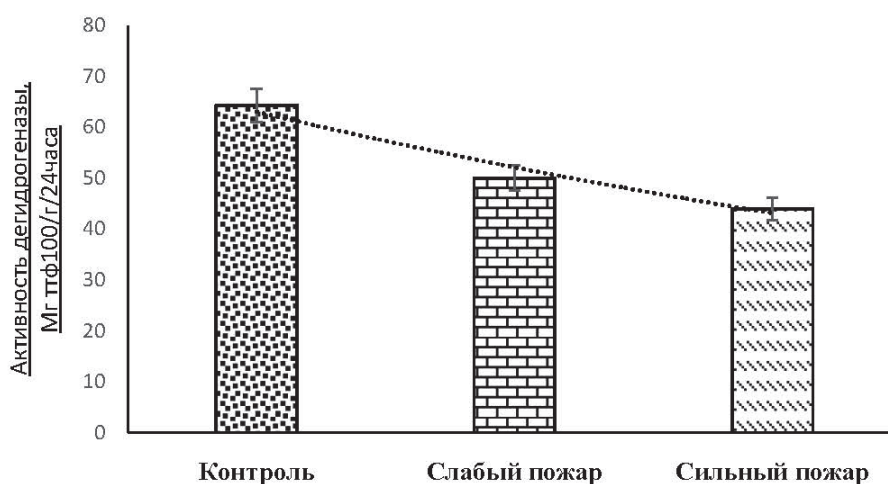


Рис. 2. Активность дегидрогеназ после пожара, мг ТТФ/100г/24 часа

### Литература

1. <https://www.iii.org/fact-statistic/facts-statistics-wildfires>
2. Maslyakov V.N. Speech of head of Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance at "The national meeting on the implementation of powers in the field of the forest 5 relations", available at: <http://www.rosleshoz.gov.ru/media/news/550>, 2011.
3. Barbour M.G., Burk J.H., Pitts W.D. Terrestrial Plant Ecology. Menlo Park, CA, USA: The Benjamin Cummings Publishing Company. 1987.
4. Isaev A. S.: Forest as a national treasure of Russia, Age of Globalization, 2011, 148-158.
5. Sankey J.B. et al. Fire effects on the spatial patterning of soil properties in sagebrush steppe, USA: a meta-analysis // International Journal of Wildland Fire. 2012. 71-92.
6. Boerner R.E.J. et al. Prescribed burning effects on soil enzyme activity in a southern Ohio hardwood forest: a landscape-scale analysis // Soil Biology & Biochemistry 32 (2000) 899-908.
7. Кулешова Л.В., Коротков В.Н., Потапова Н.А., Евстигнеев О.И., Козленко А.Б., Русанова О.М. Комплексный анализ послепожарных сукцессий в лесах Костомукшского заповедника (Карелия) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1996. Т. 101. Вып. 4. С. 3-15.
8. Вальков В.Ф., Казадаев А.А., Креница А.М., Супрун В.А., Суханова В.М., Тащев С.С.// Влияние сжигание стерни на биоту чернозема // Почвоведение. 1996. № 12. С. 1517-1522.
9. Ремезов Н.П., Погребняк П.С. Лесное почвоведение. М.: Лесная промышленность, 1965. 324 с.
10. Пономаренко Е.В., Пономаренко С.В., Офман Г.Ю., Хавкин В.П. Почва как она есть // Природа. 1993. №3. С. 16-26.
11. Стефин В.В. Антропогенные воздействия на горно-лесные почвы. Новосибирск: Наука, 1981. 169 с.
12. Трутнев А.Г., Былинкина В.Н. Влияние обжига на изменение свойств почвы // Почвоведение, 1951, № 4. С. 231-237.
13. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. – 356 с.
14. Одабащян М.Ю., Казеев К.Ш., Трушков А.В. Диагностика пирогенного эффекта на чернозёме обыкновенном по активности каталазы // Биодиагностика и оценка качества природной среды: под-

ходы, методы, критерии и эталоны сравнения в экотоксикологии: Материалы международного симпозиума и школы, МГУ, 25–28 октября 2016 г. – М.: ГЕОС, 2016. – С. 386-388.

15. Одабашян М.Ю., Трушков А.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние пала на ферментативную активность чернозема // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 2-3. С. 482-485.

16. Якимова А.С., Полторацкая Т.А., Черникова М.П., Казеев К.Ш. Влияние пожара на экологические свойства почв заповедника «Утриш» / Актуальные проблемы экологии и природопользования. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. – С.228-233.

17. Полторацкая Т.А., Якимова А.С., Оганесян Д.Д., Казеев К.Ш. Изменение биологической активности песчаных почв при верховом пожаре / Техногенные системы и экологический риск: Тезисы докладов II Международной (XV Региональной) научной конференции. Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2018. С.241-242.

## THE INFLUENCE OF STEPPE FIRE ON THE ACTIVITY OF SOIL DEHYDROGENASES

M.Y. Odabashyan, A.V. Trushkov, K.Sh. Kazeev

Southern Federal University, Rostov-on-don, m.odabashyan@mail.ru

**Summary.** *The results of research of dehydrogenase activity after the steppe fire in the Rostov region are presented in this work. Three sites differing in the degree of pyrogenic effect were investigated. The study revealed a decrease in the activity of dehydrogenases in post-pyrogenic soils. The decrease in activity depended on the intensity of the impact. In the area with a weak fire, inhibition of activity was 22.2%, in the area with a strong fire – 31.6% of the control values.*

**Keywords:** *pyrogenic factor, steppe fire, dehydrogenase, enzymatic activity, Chernozem.*

## СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА-*MATRICARIA CHAMOMILLA* L.

Е.Г. Остроухова, А.И. Сысо

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [suetina.lena@yandex.ru](mailto:suetina.lena@yandex.ru)

**Аннотация.** Исследовано валовое содержание химических элементов (ХЭ) в почве и определено количество их подвижных, доступных для растений форм соединений. Проанализирован элементный химический состав *Matricaria chamomilla* L. (надземные и подземные части). Рассчитаны биогеохимические показатели накопления и распределения ХЭ в системе «почва-растение». Дана эколого-биогеохимическая характеристика *M. chamomilla*, произрастающей на фоновых и антропогенно преобразованных территориях юга Западной Сибири, и оценена возможность ее использования как лекарственного растительного сырья.

**Ключевые слова:** химические элементы, почвы, лекарственные растения, *Matricaria chamomilla* L., биогеохимические коэффициенты.

Лекарственные растения издавна широко используются как в народной, так и в официальной медицине. Однако, с учётом ежегодно возрастающей антропогенной нагрузки на окружающую среду, возникает вопрос о возможности получения экологически безопасного лекарственного растительного сырья (ЛРС) на антропогенно преобразованных территориях. Поскольку существенная часть химических элементов (ХЭ) поступает в растения преимущественно из почвы [1, 2], становится особенно актуальным совместное изучение лекарственных растений и почв, что позволит оценить влияние антропогенной нагрузки на почвенно-растительный покров и возможность получения качественного ЛРС.

Исследования подобного плана характеризуются высокой степенью новизны, поскольку на юге Западной Сибири основное внимание уделяется исследованию сельскохозяйственных растений. Особенности накопления и распределения ХЭ в системе «почва – лекарственные растения» рассматриваются лишь в отдельных работах [3-7], и полученные результаты весьма противоречивы.

Одно из весьма популярных, широко распространённых и ценных лекарственных растений – *Matricaria chamomilla* L. (ромашка аптечная), сырьё которой используется как в официальной, так и в народной медицине. Препараты ромашки аптечной оказывают спазмолитическое, противовоспалительное, противомикробное, успокоительное действие, обладают антимуtagenной активностью и снижают уровень холестерина [8].

Целью данной работы стало изучение элементного химического состава почв и растений *M. chamomilla* на антропогенно преобразованных территориях юга Западной Сибири и выявление особенностей содержания, накопления и распределения ХЭ. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: 1) определить валовое содержание и концентрацию подвижных форм ХЭ в почве; 2) исследовать содержание ХЭ в растениях *M. chamomilla*; 3) рассчитать коэффициенты биологического накопления и биогеохимической подвижности элементов, 4) дать эколого-биогеохимическую оценку исследованных почв и растений.

**Объекты и методы исследования.** Работы проводились на юге Западной Сибири, на фоновых и антропогенно преобразованных территориях, входящих в состав Новосибирской агломерации – г. Новосибирск, Новосибирский, Колыванский, Искитимский и др. районы. Объектами исследования были пробы почв (из слоя 0-20 см – основной зоны минерального питания) и растений *M. chamomilla* (цветки и корни), отобранные общепринятыми методами.

Содержание физической глины (частиц менее 0,01 мм) определяли по ГОСТ 12536-79, потенциальную кислотность  $pH_{\text{сол}}$  – по ГОСТ 26483-85, подвижные формы ХЭ в почвах – по РД 52.18.289-90 (ацетатно-аммонийный буферный раствор с  $pH$  4,8 – ААБ) и 52.18.191-89 (1 н раствор HCl), общее содержание ХЭ – после сухого озоления методом атомно-эмиссионной спектроскопии. Количество ХЭ приведено в пересчете на абсолютно сухое ве-

щество. В качестве стандартов использованы образцы дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы САДПП-09/3 (ОСО № 18809), черноземной выщелоченной среднесуглинистой почвы САЧВП-05/2 (ОСО № 28813), дерново-подзолистой супесчаной почвы СДПС-1 (ГСО 2498-83), чернозема типичного СЧТ-3 (ГСО 2509-83), травяной муки злаковой (гранулированной) ТМЗг-01 (ОСО № 10-176-2011) и листа березы ЛБ-1 (ГСО 8923-2007). Полученные результаты определения ХЭ в стандартах укладывались в их аттестованные значения. Общую зольность и количество золы, нерастворимой в 10% HCl, определяли согласно Государственной фармакопее Российской Федерации 2015 г. [9].

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили при помощи пакета программ SNEDECOR и STATISTICA 6.1. Нормальность распределения исследуемых ХЭ оценивалась по критериям Уилка-Шапиро, проверка гипотез о равенстве дисперсий в нормально распределенных выборках проводилась по критериям Кохрена. Поскольку для большинства исследуемых ХЭ было выявлено аномальное (логарифмическое) распределение данных, расчет средних арифметических значений не является корректным, и в данном исследовании представлены медианные значения (Me). Статистическая значимость различий исследовалась по методу Краскела-Уоллиса. Критический уровень значимости  $p$  во всех случаях принимался равным 0,05.

**Результаты и обсуждение.** Изученные почвы в основном относились к двум разновидностям: супесчаные с нейтральной реакцией почвенной среды и легкосуглинистые с близкой к нейтральной реакцией среды. В супесчаных почвах обнаружено превышение ориентировочно-допустимой концентрации (ОДК) Ni и Zn по гигиеническим критериям ГН 2.1.7.2511-09. Причина данного факта видится не в техногенном загрязнении окружающей среды, а в региональной геохимической специфике изученной территории – естественной повышенной концентрации этих элементов в почвах, а также низких значениях ОДК, не учитывающих подобные явления природы [7]. Не выявлено статистически значимой разницы между валовым содержанием ХЭ в супесчаных и легкосуглинистых почвах, а также на фоновых и антропогенно преобразованных территориях (в таблице представлены объединенные данные). Вероятно, это связано с высокой вариабельностью их содержания в почвах, аномальным распределением данных в выборках, а также слабым уровнем загрязнения исследуемых территорий. При определении и оценке концентрации подвижных форм соединений ХЭ в почвах не выявлено статистически значимой разницы между почвами разного гранулометрического состава, а также отобранных на территориях с различным уровнем антропогенного воздействия (в таблице представлены объединенные данные); не наблюдается и превышения допустимого содержания ХЭ (по ГН 2.1.7.2041-06).

Содержание ХЭ в почвах и растениях *M. chamomilla*, мг/кг а. с. в.

ХЭ	Почва		<i>M. chamomilla</i>		
	валовое содержание	подвижные формы (ААБ)	корни	цветки	цветки [12 / 13 / 14]
Ca	18700	8300	6100	8900	12720 / 8187 / 6959
Cd	0,4	0,03	0,14	0,38	0,44 / 0,19 / –
Co	11,6	1,0	0,54	0,27	0,32 / 0,24 / 0,20
Cr	62	< 1	2,3	0,19	1,22 / 11,19 / 1,70
Cu	22	0,4	16	13	8 / 7 / 8
Fe	25300	21	1200	250	503 / 245 / 521
K	17200	230	16000	29900	– / 27498 / 18399
Mg	6600	260	810	1900	1643 / 2165 / 2319
Mn	580	108	53	30	– / 24 / 96
Na	15200	65	1230	280	– / 2503 / 2132
Ni	40	1,5	2,8	1,4	1,8 / 3,7 / 1,5
Pb	17	2,1	0,7	0,5	0,7 / 3,9 / –
Sr	170	18	70	44	48 / 23 / 49
Zn	66	3,7	22	17	31 / 26 / 24

Примечание. Прочерк – нет данных.

Учитывая вышеизложенное, является вполне естественным тот факт, что между элементарным химическим составом растений, произрастающих на фоновых и антропогенно преобразованных территориях, также не выявлено статистически значимых отличий, поэтому в таблице представлены объединенные данные. Оценка *M. chamomilla* как потенциально ресурсного для Западной Сибири лекарственного растения свидетельствует об отсутствии превышений допустимых значений общей зольности, содержания золы, нерастворимой в 10 % HCl, и концентрации нормируемых ХЭ для растительного лекарственного сырья по Государственной фармакопее РФ 2015 г. [9] и БАД на растительной основе по СанПиН 2.3.2.1078-01. Это позволяет сделать вывод о том, что влияние антропогенного фактора на содержание ХЭ в *M. chamomilla*, произрастающей на исследованных антропогенно преобразованных территориях, практически не проявляется, и исследованная растительная продукция может быть использована в лекарственных целях.

Сравнивая полученные нами результаты исследования элементного химического состава растений *M. chamomilla* юга Западной Сибири с литературными данными, можно отметить, что содержание большинства рассматриваемых в работе ХЭ весьма близко к кларкам в растительности суши [10, 11].

К сожалению, как уже было отмечено ранее, биогеохимические исследования ЛРС пока не получили широкого распространения как в Сибири в частности, так и в России в целом. Чтобы по возможности оценить региональные особенности элементного химического состава изучаемого вида растения, для примера мы провели его сравнение с *M. chamomilla*, произрастающей в Турции [12–14] (таблица).

Можно отметить, что содержание большинства исследованных ХЭ (за исключением Sr и Na) в целом довольно близкое. Высокие концентрации Na в турецких растениях объясняются, скорее всего, природно-климатической спецификой – аналогичные результаты были получены ранее в нашей лаборатории при исследовании образцов *Plantago major* L., отобранных на побережье Черного моря [15]. Большое количество Sr в растениях может быть связано как с его высоким содержанием в почвах, так и с фолитарным поступлением данного элемента, что показывают и очень высокие отношения Sr/Ni, отражающие явную повышенную запыленность образцов [16].

На элементный химический состав растений существенное влияние оказывает их содержание в почве. Широко известно, что растения способны к избирательному поглощению ХЭ. Б.Б. Польшов предложил оценивать интенсивность поглощения как отношение количества ХЭ в золе растений к общему их количеству в почве, А.И. Перельман назвал данный показатель коэффициентом биологического поглощения  $A_x$ . По интенсивности биологического поглощения традиционно выделяют ХЭ «биологического накопления» ( $A_x > 1$ ) и «биологического захвата» ( $A_x < 1$ ), подразделяя их на 4 группы (иногда выделяют пятую), однако ХЭ с  $A_x$  около 1 могут переходить из группы в группу [11, 17]. В связи с этим, для оценки степени перехода ХЭ из почвы в растения *M. chamomilla* нами были рассчитаны коэффициенты биологического поглощения  $A_x$  (рис. 1). Полученные диапазоны значений  $A_x$  для Ca, Mg Sr и Fe соответствовали общей градации В.В. Добровольского для растительности Мировой суши [11], а у других элементов несколько отличались в большую (Cd, Cu, K) и меньшую (Co, Mn, Na, Ni, Pb, Zn) сторону.

Коэффициент биологического поглощения отражает потенциальную биогеохимическую подвижность ХЭ, поэтому Н.С. Касимовым был предложен коэффициент биогеохимической подвижности  $B_x$ , рассчитываемый как отношение содержания ХЭ в сухом веществе растений к его подвижному, доступному для растений воднорастворимым, солевым, органоминеральным формам ХЭ, извлекаемым из почв слабыми растворителями [17]. Он характеризует доступность ХЭ растениям и степень использования ими подвижных форм ХЭ, содержащихся в почве. К сожалению, у данного коэффициента есть существенный недостаток – из-за отсутствия четких методических указаний разные авторы используют в своих исследованиях различные экстрагенты, что очень затрудняет либо делает невозможным сопоставление полученных результатов.

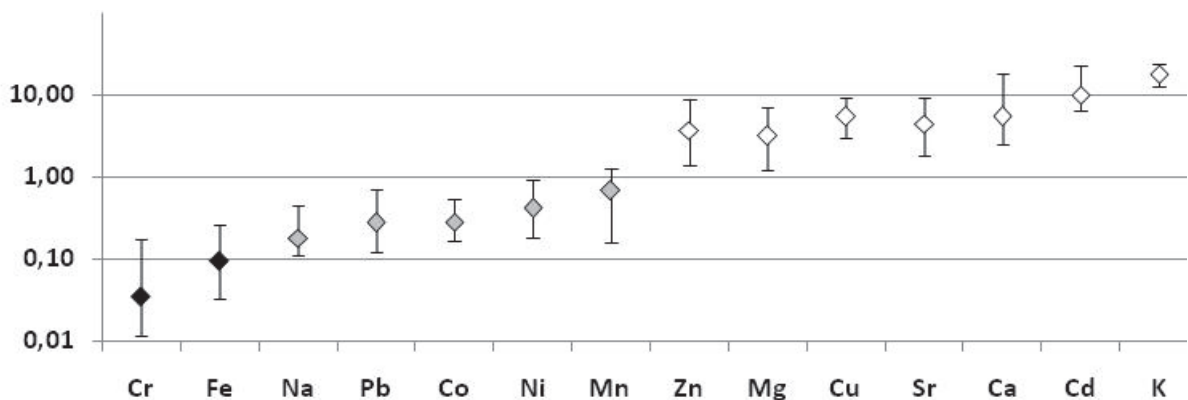


Рис. 1. Коэффициенты биологического поглощения  $A_x$  в системе "почва – *M. chamomilla*" (медиана и размах варьирования; черным цветом выделены элементы очень слабого и слабого захвата, серым – среднего накопления и интенсивного захвата, белым – среднего и интенсивного накопления)

Нами были рассчитаны значения  $B_x$  для *M. chamomilla* по отношению к подвижным формам соединений ХЭ, извлекаемым из почв двумя наиболее широко распространенными экстрагентами – ААБ и HCl, и проведено их сравнение с аналогичными коэффициентами, полученными М.Я. Ловковой и др. [8] для данного вида при использовании в качестве экстрагента HCl (рис. 2).

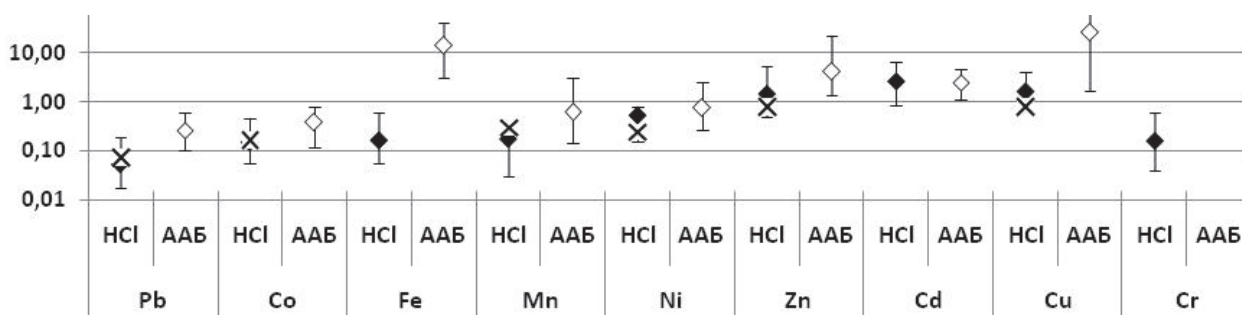


Рис. 2. Коэффициенты биогеохимической подвижности  $B_x$  для *M. chamomilla* (медиана и размах варьирования; знак «x» – данные М.Я. Ловковой и др. [8])

Как показано на рис. 2, при использовании различных экстрагентов расчетные значения коэффициентов  $B_x$  отличаются в разы и даже более чем на порядок. Можно отметить и высокую вариабельность данных коэффициентов, а также указать, что приведенные в работе [8] значения вполне укладываются в рассчитанные нами диапазоны.

**Заключение.** Между элементным химическим составом почв и растений фоновых и антропогенно преобразованных территорий не выявлено статистически значимых отличий, что связано, вероятно, с высокой вариабельностью содержания ХЭ и слабым уровнем загрязнения исследуемого почвенно-растительного покрова. Превышения допустимого содержания подвижных форм соединений ХЭ (по ГН 2.1.7.2041-06) не выявлено; валовое содержание Ni и Zn не соответствует требованиям ГН 2.1.7.2511-09 в супесчаных почвах в связи с региональной геохимической спецификой изучаемой территории и низкими нормативными значениями данных элементов.

Содержание большинства исследованных ХЭ в цветках *M. chamomilla* относительно близко к кларкам в растительности суши, а также вполне соответствует их концентрациям в растениях данного вида, произрастающих в Турции. Диапазоны коэффициентов биологического поглощения зачастую несколько отличаются от средних значений для растительности суши в целом. Коэффициенты биогеохимической подвижности элементов существенно варьируют, а использование при их расчете данных о содержании подвижных форм соединений ХЭ, извлекаемых из почв разными экстрагентами, приводит к различию полученных результатов в разы и на порядки.



Исследованные нами растения *M. chamomilla*, произрастающие на антропогенно преобразованной территории юга Западной Сибири, не накапливают опасных концентраций нормируемых ХЭ, соответствуют санитарно-гигиеническим и фармакологическим нормативам безопасности и могут быть использованы в качестве ЛРС.

### Литература

1. Ильин В. Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
2. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton, FL: Crc Press., 2010. 548 p.
3. Караваев Н.Г. Экологическая оценка техногенного загрязнения лекарственного растительного сырья в промышленных центрах Западной Сибири: Автореф. дис. канд. фарм. наук. Уфа, 1995. 18 с.
4. Егорова И.Н. Содержание тяжелых металлов и радионуклидов в сырьевых лекарственных растениях Кемеровской области: Автореф. дис. канд. биол. наук. Томск, 2010. 21 с.
5. Загурская Ю.В., Баяндина И.И., Сиромля Т.И. и др. Качество сырья лекарственных растений при выращивании в антропогенно нарушенных регионах Западной Сибири на примере *Hypericum perforatum* L. и *Leonurus quinquelobatus* Gilib // Химия растительного сырья. 2013. № 4. С. 141-150.
6. Гравель И.В., Шойхет Я.Н., Яковлев Г.П., Самылина И.А. Фармакогнозия. Экоотоксиканты в лекарственном растительном сырье и фитопрепаратах. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. 304 с.
7. Сысо А.И., Сиромля Т.И., Мяделец М.А., Черевко А.С. Эколого-биогеохимическая оценка элементного и биохимического состава растительности антропогенно нарушенных экосистем (на примере *Achillea millefolium* L.) // Сиб. экол. журн. 2016. № 5. С. 782-792.
8. Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М. и др. Почему растения лечат. М.: Наука, 1990. С. 142-143.
9. Государственная фармакопея Российской Федерации XIII издания. Т. 2. М.: Мин. Здрав. РФ, 2015. 1004 с.
10. Романкевич Е.А. Живое вещество Земли (биогеохимические аспекты проблемы) // Геохимия. 1988. № 2. С. 292-306.
11. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003. 400 с.
12. Basgel S., Erdemoglu S.B. Determination of mineral and trace elements in some medicinal herbs and their infusions consumed in Turkey // Science of the Total Environment. 2006. Т. 359. P. 82- 89.
13. Ozcan M.M., Unver A., Ucar T., Arslan D. Mineral content of some herbs and herbal teas by infusion and decoction // Food Chemistry. 2008. Т. 106. P. 1120-1127.
14. Kara D. Evaluation of trace metal concentrations in some herbs and herbal teas by principal component analysis // Food Chemistry. 2009. Т. 114. P. 347-354.
15. Сиромля Т.И., Мяделец М.А. Формы соединений химических элементов в лекарственных растениях // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии // Труды IX Международной биогеохимической школы. Барнаул. 2015. Т. 2. С. 182-185.
16. Сысо А.И. Использование отношения Cr:Ni в мониторинге загрязнения природной среды // Агрохимия. 1998. № 4. С. 76-83.
17. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 610 с.

### THE CONTENT AND DISTRIBUTION OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE SOIL-PLANT SYSTEM WITH CHAMOMILE *MATRICARIA CHAMOMILLA* L. E.G. Ostroukhova, A.I. Syso

Institute of Soil Science and Agrochemistry of SB RAS, Russia, Novosibirsk, suetina.lena@yandex.ru

**Summary.** The study examined the total content of chemical elements in soil, as well as the content of their mobile forms, available for plants. The content of chemical elements was also analyzed in above- and belowground parts of *Matricaria chamomilla* L. Some biogeochemical indicators of accumulation and distribution of chemical elements in the soil-plant system were calculated. The chamomile plants grown in the non-contaminated and anthropogenically transformed areas in the south of West Siberia were characterized both ecologically and biogeochemically, and the possibility of the plant use for medicinal purposes was assessed.

**Keywords:** chemical elements, soils, drug plants, *Matricaria chamomilla* L., biogeochemical coefficients.

## ФОНОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПРИОРИТЕТНЫХ ЭКОТОКСИКАНТОВ В ПОЧВАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

Т.А. Парамонова<sup>1</sup>, С.Г. Парамонов<sup>2</sup>, Г.М. Черногаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Факультет Почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, tparamonova@soil.msu.ru

<sup>2</sup> ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», Москва, sgpar@igce.ru, gmch@igce.ru

**Аннотация.** На основе базы данных ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» по содержанию тяжелых металлов и органических загрязнителей в наземных экосистемах фоновых территорий дана характеристика экологического состояния почв Центрального федерального округа РФ и показано отсутствие в них выраженных трендов глобального загрязнения за последние 10 лет.

**Ключевые слова:** мониторинг почв, фоновые территории, тяжелые металлы, органические экотоксиканты.

Вследствие глобального рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере Земли антропогенная нагрузка на наземные экосистемы может ощущаться даже там, где непосредственные источники воздействия отсутствуют или серьезно ограничены. В этой связи на территории РФ организована сеть станций комплексного фонового мониторинга (КФМ) системы Росгидромета. Станции КФМ приурочены к основным биоклиматическим зонам европейской и азиатской части России, а также к находящимся в их пределах областям высотной поясности. На территории Центрального федерального округа экологический мониторинг почв проводится в Национальном парке (НП) Смоленское Поозерье, Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике (БЗ) и Воронежском БЗ. Размещение КФМ в пределах особо охраняемых природных территорий федерального значения, которые имеют наивысшую организационно-техническую степень защищенности природных ресурсов, позволяет обеспечить удаленность от локальных источников антропогенного загрязнения и выполнять функцию по оценке текущего уровня фонового загрязнения природных экосистем и выявлению многолетних трендов изменения регионального и глобального уровней аэрогенной нагрузки.

Регулярный мониторинг состояния почвенного покрова на станциях КФМ проводится, начиная с 1995 г. В ходе него на постоянных опорных площадках 1 раз в 3-5 лет по унифицированной методике производится пробоотбор почв с последующим анализом содержания в них приоритетных загрязняющих веществ глобального рассеивания – тяжелых металлов и поллютантов органической природы. Мониторинговые площадки приурочены к основным типам растительных ассоциаций природных экосистем региона – лесным и луговым растительным сообществам. Смешанные образцы почв формируются методом конверта из верхнего минерального слоя профиля на глубину 10 см с площади 100 м<sup>2</sup> в луговых экосистемах, а в лесных экосистемах из лесной подстилки и 10-см слоя нижележащих минеральных горизонтов с площади 2500 м<sup>2</sup>. Контролируемыми показателями загрязнения почв являются валовые формы соединений свинца, кадмия и меди, а среди поллютантов органической природы – бенз(а)пирен и токсичные пестициды (сумма ДДТ и его метаболитов,  $\gamma$ -ГХГЦ), которые запрещены или ограничены в использовании на территории России.

Полученные результаты ежегодно обобщаются в ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН» в виде базы данных и публикуются в Обзоре состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации [1 и др.]. В периодически издаваемых Аналитических обзорах «Тенденции и динамика состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации по данным многолетнего мониторинга» также отслеживаются уровни содержания загрязняющих веществ в почвах фоновых территорий за более длительные временные периоды [2 и др.]. Однако информационный характер издаваемых сборников, направленных, прежде всего, на обеспечение заинтересованных сторон (надзорных органов, научное сообщество, общественность) фактическими сведениями об экологическом состоянии почв фоновых территорий, как правило, не позволяет подробно останавливаться

на деталях представляемых данных. В этой связи целью настоящего исследования был укрупненный анализ основных закономерностей пространственно-временной вариабельности содержания загрязняющих веществ в почвах фоновых природных ландшафтов Центрального федерального округа за период последнего десятилетия.

В период 2007-2017 гг. средний уровень содержания валовых форм соединений тяжелых металлов – свинца, кадмия и меди – в поверхностных горизонтах дерново-подзолистых почв районов размещения станций КФМ был близок к значениям кларков почв мира, а также к средним значениям показателей в дерново-подзолистых почвах средней полосы России и полностью соответствовал ОДК для соответствующих групп почв песчано-супесчаного и суглинистого состава (табл. 1). Аналогично соблюдались в целом санитарно-гигиенические нормативы и в отношении загрязняющих веществ органической природы.

Таблица 1

**Среднее содержание и характеристики варьирования загрязняющих веществ в почвах станций КФМ Центрального федерального округа за период 2007–017 гг.**

Показатель	Pb, мг/кг	Cd, мг/кг	Cu, мг/кг	Бенз(а)пирен, мкг/кг	γ-ГХГЦ, мкг/кг	сумма-ДДТ, мкг/кг
НП Смоленское Поозерье, дерново-подзолистые супесчаные почвы (n=9)						
Среднее	8,2	0,24	11,3	17,4	1,8	20,0
Доверительный интервал, ±	3,1	0,11	4,9	33,2	1,9	13,5
Мин – макс	3,7-19,0	0,10-0,5	2,2-21,0	0,1-102,0	<0,1-5,2	<0,1-42,6
V, %	58	63	67	239	130	85
Приокско-Тerrasный БЗ, дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые почвы (n=18)						
Среднее	4,0	0,25	12,7	0,4	1,9	16,5
Доверительный интервал, ±	1,8	0,16	10,2	0,2	1,1	10,3
Мин – макс	1,4-19,0	0,02-1,6	0,5-58,0	0,1-0,9	<0,1-6,0	<0,1-51,8
V, %	97	142	153	78	107	115
Воронежский БЗ, дерново-подзолистые песчаные почвы (n=26)						
Среднее	7,8	0,15	4,6	4,8	1,6	23,2
Доверительный интервал, ±	3,2	0,04	1,3	5,1	0,9	12,5
Мин – макс	1,3-31,0	0,03-0,5	2,9-7,5	0,1-18,1	<0,1-4,5	<0,1-62,2
V, %	107	76	35	151	99	91
Объединенная выборка для дерново-подзолистых почв Центрального федерального округа (n=53)						
Среднее	6,6	0,2	10,6	6,9	1,8	19,6
Доверительный интервал, ±	1,8	0,1	5,2	9,5	0,7	6,8
Мин – макс	1,3-31,0	<0,1-1,6	0,5-58,0	0,1-102,0	<0,1-6,0	<0,1-62,2
V, %	102	115	134	323	107	97
Кларк почв*	10	0,5	20	-	-	-
Ориентировочные значения**	6 / 15	0,05 / 0,12	8 / 15	-	-	-
ОДК <sub>вал</sub> *** / ПДК****	32 / 65**	0,5 / 1**	33 / 66**	20***	100***	100***

\* Кларк почв по А.П.Виноградову [3].

\*\* Фоновое содержание валовых форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых песчаных и супесчаных / суглинистых и глинистых почвах средней полосы России [4].

\*\*\* ОДК<sub>вал</sub> тяжелых металлов для песчаных и супесчаных почв / кислых почв суглинистого и глинистого состава с рН<sub>KCl</sub> < 5,5 соответственно [5].

\*\*\*\* ПДК органических загрязнителей в почвах [6].

Вместе с тем, наблюдалось широкое варьирование содержания экотоксикантов в почвах опробованных природных экосистем вплоть до экстремальных спорадических 1,5-5-кратных превышений ОДК<sub>вал</sub> по содержанию соединений кадмия в дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистых почвах Приокско-Тerrasный БЗ и ПДК бенз(а)пирена – в почвах НП

Смоленское Поозерье. При этом наиболее значительная вариабельность контролируемых показателей содержания тяжелых металлов была характерна для почв Приокско-Тerrasного БЗ, расположенного на границе Московской и Тульской областей, отличающихся значительным общим уровнем антропогенной нагрузки в связи с большой плотностью населения и развитой промышленностью. В то же время не менее существенный статистический размах содержания в почвах фоновых территорий остаточных количеств пестицидов и, в особенности, бенз(а)пирена отмечался на всех станциях КФМ Центрального федерального округа без приуроченности к особенностям популяции и экономической специализации отдельных регионов.

Анализ межгодовой динамики средних значений содержания загрязняющих веществ в почвах фоновых территорий показал, что «пиковые» значения концентраций контролируемых показателей выявлялись в различные сроки наблюдений, отмеченные экстремальные значения в последующие сроки наблюдений сменялись следовыми количествами загрязнителей, а весь временной ряд наблюдений не имел четко направленных трендов а (рис. 1). Вероятнее всего, большой размах значений содержания загрязняющих веществ определяется значительной пространственной неоднородностью почвенных свойств, и в целом для периода мониторинговых наблюдений 2007–2017 гг. нет оснований говорить о повышении степени общего антропогенного загрязнения почв фоновых территорий.

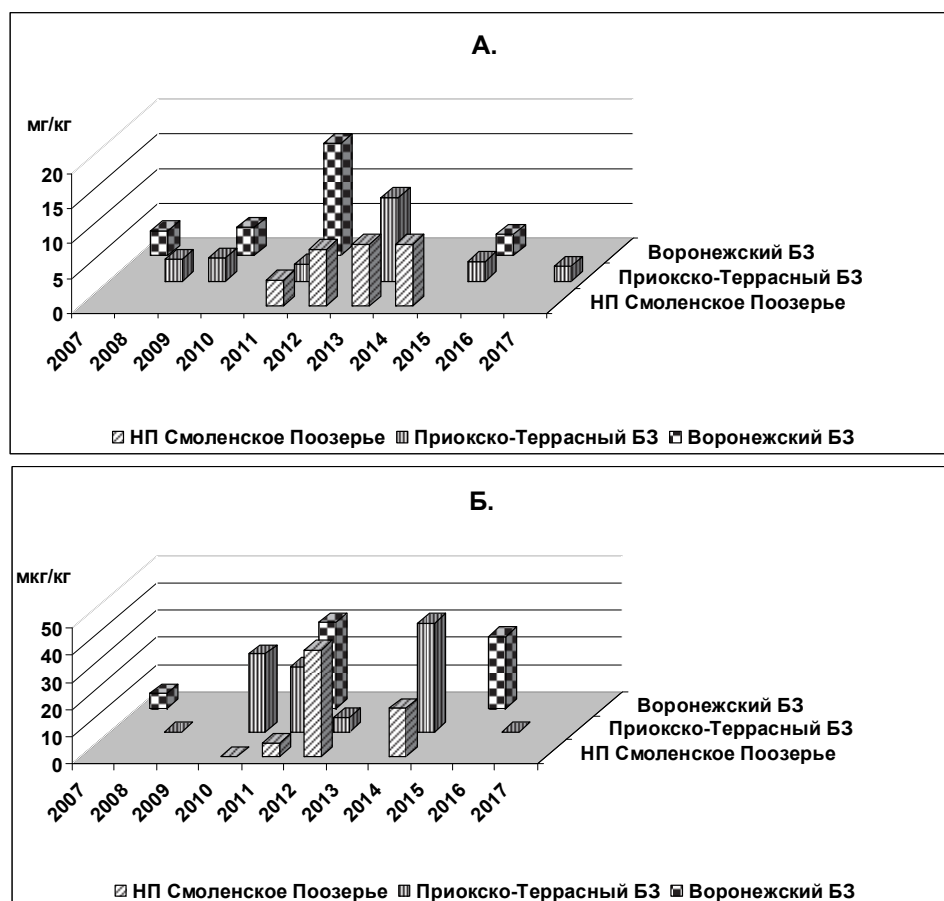


Рис. 1. Межгодовая динамика среднего содержания загрязняющих веществ в почвах станций КФМ Центрального федерального округа за период 2007-2017 гг. на примере: А – валовых форм соединений свинца, Б – ДДТ и его метаболитов

Дифференцированный учет содержания тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах, развитых под лесными древостоями и послелесными луговыми экосистемами, показал, что среднемноголетние концентрации загрязняющих веществ в большей степени зависят от общих региональных особенностей, чем от типа землепользования (рис. 2). В этой связи можно предположить, что уровни концентраций тяжелых металлов в почвах в большей степени зависят от геохимической специализации почвообразующих пород (т.е. от природной

матрицы региона), и в меньшей – от особенностей растительного покрова, который служит в наземных экосистемах первичным накопителем атмосферных выпадений загрязняющих веществ. Для дерново-подзолистых почв лесных биогеоценозов по сравнению с почвами луговых биогеоценозов отмечается лишь очень незначительное возрастание средних уровней содержания валовых форм соединений свинца, что может быть результатом перехвата примесей поллютантов из атмосферы. Однако в отношении кадмия, меди и загрязняющих веществ органической природы сколь-нибудь выраженных особенностей аккумуляции в почвах лесных и травянистых экосистем не отмечается.

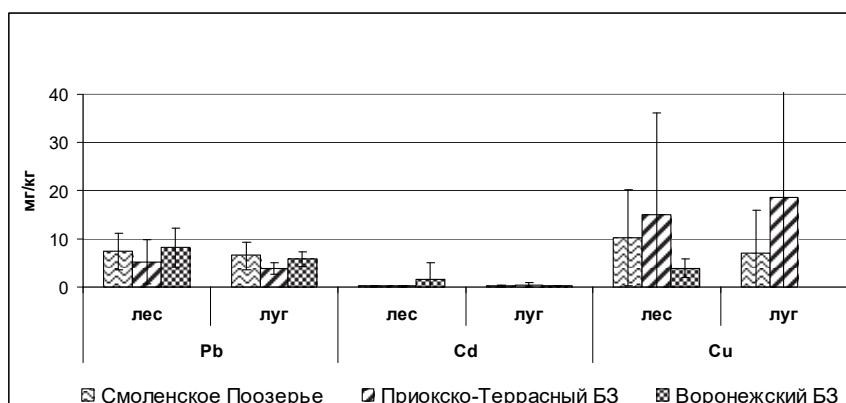


Рис. 2. Межгодовая динамика среднего содержания загрязняющих веществ в почвах станций КФМ Центрального федерального округа за период 2007-2017 гг. на примерах: А – валовых форм соединений свинца, Б – ДДТ и его метаболитов

Вместе с тем, очевидна большая роль биогенного фактора в формировании вертикального профиля распределения в почвах почв тяжелых металлов, некоторые из которых (в частности, медь) являются незаменимыми микроэлементами питания растений. Так, в сосновом биогеоценозе Воронежского БЗ, характеризующимся наличием на дневной поверхности почвы лесной подстилки типа «модер» ( $O_1-O_{f+h}$ ) мощностью 3–4 см, максимальные значения содержания соединений свинца, кадмия и меди приурочены именно к этому горизонту, что свидетельствует о существенном потоке биологической миграции элементов, возвращающихся в почву с древесным опадом (табл. 2).

Таблица 2

**Распределение концентраций тяжелых металлов в почвах биогеоценозов Воронежского БЗ**

Биогеоценоз	Слой (горизонт)	Pb, мг/кг	Cd, мг/кг	Cu, мг/кг
Сосняк	О (лесная подстилка)	14,7	0,100	12,1
	0-5 см	1,8	0,058	4,6
	5-10 см	1,5	0,045	3,2
Дубрава	0-5 см	3,8	0,040	–
	5-10 см	6,0	0,180	–
Луг	0-5 см	4,1	0,390	3,7
	5-10 см	2,2	0,170	1,4

С другой стороны, в дубраве Воронежского БЗ, где фрагментарное развитие на поверхности почвы лесной подстилки типа «мюль» и ее быстрая ферментация не позволяют веществам аккумулироваться в составе древесного опада, максимумы накопления тяжелых металлов могут быть несколько смещены вглубь гумусово-аккумулятивного горизонта. В почвах луговых биогеоценозов отмечается постепенное снижение концентраций валовых форм соединений свинца, кадмия и меди в слоях 0–5 см и 5–10 см почвенного профиля.

В целом, мониторинг содержания в почвах фоновых территорий приоритетных загрязняющих веществ неорганической и органической природы показал, что за период 2007–2017 гг. при широком варьировании значений контролируемых показателей не выявляется

региональных или глобальных трендов к накоплению приоритетных экотоксикантов, что свидетельствует о сохранении экологического благополучия природными экосистемами районов, удаленных от источников импактного воздействия.

### Литература

1. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2016 год / ред. Г.М. Черногаева, С.А. Громов, Л.Р. Журавлева и др. Москва: Росгидромет, 2017. 216 с.
2. Тенденции и динамика состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации по данным многолетнего мониторинга за последние десять лет. Аналитический обзор / ред. Г.М. Черногаева. Москва: Росгидромет, 2017. 48 с.
3. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555—571.
4. Свод правил СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001220> (дата обращения: 20.04.2018).
5. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2042-06. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293828/4293828439.htm> (дата обращения: 20.04.2018).
6. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/429385011.htm> (дата обращения: 20.04.2018).

### BACKGROUND CONCENTRATIONS OF PRIORITY ECOTOXICANTS IN SOILS OF THE CENTRAL FEDERAL DISTRICT OF RUSSIAN FEDERATION

T.A. Paramonova<sup>1</sup>, S.G. Paramonov<sup>2</sup>, G.M. Chernogaeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Soil Science, Moscow Lomonosov State University, Moscow, [tparamonova@soil.msu.ru](mailto:tparamonova@soil.msu.ru)

<sup>2</sup> Institute of Global Climate and Ecology, the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring and the Russian Academy of Sciences, Moscow, [sgpar@igce.ru](mailto:sgpar@igce.ru), [gmch@igce.ru](mailto:gmch@igce.ru)

**Summary.** *Based on the database of the Institute of Global Climate and Ecology on the content of heavy metals and organic pollutants in terrestrial ecosystems of background territories the ecological state of soils of the Central Federal District of the Russian Federation is given, and the absence of pronounced trends in global pollution over the past 10 years is shown.*

**Keywords:** *soil monitoring, background areas, heavy metals, organic ecotoxics.*

# АГРОХИМИЧЕСКИЕ, САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСВ И КОСПОСТОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г.МОСКВЫ, УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ

Е.П. Пахненко<sup>1</sup>, Е.А. Гунина<sup>1</sup>, Г.Е. Мерзлая<sup>2</sup>, Н.В. Костина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, eugenia-golubeva@yandex.ru  
<sup>2</sup> ФБГНУ «ВНИИ Агрехимии», Москва

**Аннотация.** Проведено комплексное исследование осадков сточных вод и компостов на их основе двух типов: реагентного и безреагентного. Изучено влияние внесения осадков и компостов на продуктивность растений и содержание в их вегетативной массе макроэлементов и тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** осадок сточных вод, органическое вещество, тяжелые металлы, продуктивность, рапс, райграс, овсяница.

Одной из основных, в настоящее время, экологических проблем во всем мире, особенно в крупных городах, является проблема утилизации разного рода отходов, в том числе – осадков сточных вод (ОСВ). Значительные массы этих отходов в жидком или обезвоженном виде после переполнения специально отведенных технологических площадей для их хранения часто выбрасываются в карьеры, низины, овраги и водные объекты. Такой способ захоронения больших объемов осадков приводит к загрязнению почвы, воды и атмосферы.

Значительный объем исследований, посвященных оценке состава и свойств ОСВ, их экологической и радиологической безопасности, а также влиянию на качество урожая подтверждают высокую эффективность их применения в качестве удобрения. Осадки имеют высокое содержание органического вещества, азота и фосфора, широкий набор микроэлементов, которые необходимы для нормального роста растений [1, 2].

Комплексное агроэкологическое исследование осадков сточных вод и компостов на их основе, а также проведение модельных, вегетационных и микрополевых опытов позволяет разрабатывать и дополнять теоретическую базу, необходимую для оптимизации применения данного вида нетрадиционных удобрений в агрикультуре и решения проблем их экологически безопасной утилизации.

**Объекты и методы.** Впервые в отечественной практике, в сотрудничестве с МГУП «Мосводоканал» было проведено комплексное исследование реагентных осадков сточных вод и компостов на их основе новых очистных сооружений Юж. Бутово, мощностью 80 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Компостирование ОСВ Юж. Бутово проводили в буртах в анаэробных условиях с опилками, в соотношении ОСВ:опилки = 2:1 в течение 1 года.

Для сравнения были взяты безреагентные осадки крупнейшей в Европе Курьяновской станции аэрации (КСА), производительностью 3,1 млн м<sup>3</sup>. Компостирование осадков сточных вод КСА в термофильном режиме с периодической принудительной аэрацией, температура процесса – 55-65°C, что соответствует температуре обеззараживания компоста. Длительность компостирования – 30 дней.

Возможность рационального применения осадков и компостов на их основе изучали в условиях вегетационных и микрополевых опытов на урбаноземе, агроурбаноземе и моренном суглинке строительных отвалов г. Москвы: высевали райграс многолетний *Lolium perenne* L., овсяницу красную *Festuca rubra* L. и рапс яровой *Brassica napus* L.

Закладку, проведение опытов, отбор образцов и их аналитическую обработку осуществляли по классическим методам [3]. Вегетационные опыты проводили в фитотроне, который надежно обеспечивал регулирование  $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$  и светового потока (цикл свет/темнота 14/10ч). Вес воздушно-сухой почвы в сосуде 14 кг. Полив проводили регулярно, поддерживая влажность почвы 60% от ППВ. Срок вегетации – 2,5, 3,5 мес. для райграса и овсяницы соответственно. Повторность опытов 5-кратная. Микрополевые опыты проводили на территории

опытного участка КСА, вносили 15кг/м<sup>2</sup> осадок Юж. Бутово и 20 кг/м<sup>2</sup> компост КСА. Площадь делянки 10м<sup>2</sup>. Срок вегетации растений – 3,5 мес, повторность опыта 3-кратная.

Влияние осадка Юж. Бутово на агрохимические свойства дерново-подзолистых почв и урбанозема изучали в условиях годичного модельного эксперимента.

**Обсуждение результатов.** Комплексное агроэкологическое исследование осадка сточных вод Юж. Бутово и компоста на его основе показало его полное соответствие принятым нормативам [4]. Сравнительный анализ осадков Юж. Бутово и КСА показал, что различия по основным агрохимическим показателям были в пределах установленных нормативов, и те и другие, как нетрадиционные органические удобрения пригодны для внесения в почву под зерновые, зернобобовые и технические культуры (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Показатели осадков сточных вод Юж. Бутово и КСА

Показатель	Юж. Бутово	КСА	ПДК (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001)
Влажность, %	63-72	72	не норм.
Органическое вещ-во, %	39-50	53	≥20
pH H <sub>2</sub> O/KCl	9,2-11,9	7,2	5,5-8,5
Валовое содержание биогенных элементов в сухом веществе			
N-общий, %	3,0-4,2	3,4	≥0,6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	3,8-5,2	6,3	≥1,5
K <sub>2</sub> O, %	0,2-0,4	0,4	не норм.

Содержание кальция в осадках Юж. Бутово было в 3 раза больше, алюминия валового в 10 раз меньше, суммарное содержание ТМ на 40% меньше. Осадок КСА отличался более высоким содержанием валовых форм кадмия, свинца, меди, цинка и мышьяка.

Оценка элементного состава осадков показала, что содержание валовых форм тяжелых металлов было ниже установленных ПДК [4]. Наиболее высокое содержание отмечено (в мг/кг) для хрома, цинка, меди: Cr=225(0,4 ПДК), Zn=650(0,4 ПДК), Cu=155(0,2 ПДК). Подвижные формы алюминия, железа, кадмия, свинца и мышьяка в осадках не обнаружены. За период исследования содержание ТМ в осадках и их подвижность отличались высокой стабильностью.

Экспертиза санитарно-эпидемиологических и токсикологических свойств осадков показала, что содержание бактерий группы кишечной палочки (*Escherichia coli*) составляет 0,4 ПДК. Сальмонеллы (*Salmonella*), жизнеспособные яйца гельминтов и цитопатогенные энтеровирусы в осадке Юж. Бутово отсутствуют. При этом, в отдельных партиях осадков КСА выявлено повышенное содержание бактерий группы кишечной палочки и сальмонеллы, что связано особенностями технологических процессов. Нормализацию и обеззараживание осадков осуществляли приемом термофильного компостирования [5].

Установлено, что содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в реagentных осадках Юж. Бутово было значительно ниже установленных нормативов.

Влияние осадка, компоста Юж. Бутово и компоста КСА на развитие овсяницы красной (*Festuca rubra* L.) изучали на моренном суглинке строительных отвалов. Вносили осадок Юж. Бутово в дозе 10%, компост Юж. Бутово и компост КСА в дозе 20% от веса почвы. Моренный суглинок строительных отвалов с территории КСА имел крайне низкое содержание биогенных элементов. Анализ на содержание ТМ показал отсутствие в субстрате валовых форм кадмия, свинца, хрома, меди и мышьяка, при этом содержание никеля, цинка и марганца не превышало 6,5 мг/кг почвы. Фенологические наблюдения показали, что при нормальной густоте стояния растений высота травостоя по вариантам опыта в процессе вегетации изменялась от 30 до 40 см. При внесении осадка Юж. Бутово наблюдалось раннее цветение овсяницы (табл.2).

Максимальная прибавка биомассы 130% к контролю показала, что для формирования газонной культуры лучшим является вариант с внесением компоста КСА. Различия и более



высокая эффективность компоста КСА связана с оптимальным нейтральным значением рН, меньшей концентрацией щелочных катионов и биоэлементов, а также физиологическими особенностями овсяницы.

Влияние компоста КСА изучали так же в вегетационном опыте с райграсом многолетним (*Lolium perenne* L.) на урбаноземе. На урбаноземе вносили компост в дозах 5,10,20% от веса почвы в сосуде. Дозу компоста 20% – двумя способами: непосредственно в почву и поверхностно, без перемешивания.

Т а б л и ц а 2

**Влияние осадков и компостов Юж. Бутово и КСА на продуктивность овсяницы и райграса**

№	Вариант опыта	Биомасса, г сухой массы /сосуд	Средняя высота, см	K <sub>кущ</sub>	Прибавка урожая	
					г/сосуд	%
<i>Овсяница красная (Festuca rubra); почва – моренный суглинок</i>						
1	Контроль	37,2±1,52	28,5±1,43	3	-	-
2	10% осадок Юж. Бутово	59,7±2,84	38,5±1,93	4	22,5	60
3	20% компост Юж. Бутово	62,7±3,03	38,5±1,92	4	25,5	69
4	20% компост КСА	85,5±4,25	32,5±1,56	5	48,3	130
<i>Райграс многолетний (Lolium perenne L.); почва – урбанозем</i>						
1	Контроль	034,5±1,48	03,15±0,13	1,5	-	-
2	5 % компост КСА	069,3±3,60	05,62±0,28	2	34,8	101
3	10 % — —	126,9±6,31	10,23±0,52	3	92,4	268
4	20 % — — в почву	179,1±7,74	15,02±0,73	5	144,6	419
5	20% — — поверх.	188,7±8,07	13,57±0,64	7	154,2	447

Поверхностное внесение компоста позволяет получить более мощную дернину у газонных культур. Биомасса райграса при внесении дозы компоста от 5 до 20% возрастала линейно, прибавка составила от 101 до 447% к контролю. Наблюдения за состоянием почвы в процессе вегетации растений показали, что внесение компоста в соотношении 5:1 улучшает физические свойства почвы, предотвращая образование почвенной корки.

Влияние осадка Юж. Бутово и компоста КСА на продуктивность рапса ярового (*Brassica napus* L.) изучали в условиях микрополевого опыта на агроурбаноземе. В вариантах с внесением осадка Юж. Бутово на стадии всходов рапс испытывал определенную депрессию ростовых процессов, связанную с высокой концентрацией биоэлементов, но в процессе вегетации растения интенсивно поглощали элементы питания и к фазе цветения обладали хорошо развитой биомассой. Наибольшую прибавку зеленой массы рапса к контролю, обеспечило внесение 15 кг/м<sup>2</sup> осадка Юж. Бутово – 102% , в то время как 20кг/м<sup>2</sup> компоста КСА только 55%. Экспериментально установлено, что рапс усваивает из почвы и удобрений большое количество биоэлементов и интенсивно поглощает кальций и магний, устойчив к определенному уровню содержания тяжелых металлов, что отражает высокие физиологические потребности рапса [6]. Оценка семенной продукции рапса показала, что прибавка семян составила 158% к контролю для осадка и 62% для компоста КСА.

Анализ наземной биомассы райграса, овсяницы и рапса на содержание биогенных элементов, тяжелых металлов и особо опасных токсикантов показал что, количество мышьяка, ртути, сурьмы, урана ниже предела обнаружения в биомассе названных растений.

Внесение компоста, содержащего большое количество кальция и магния, вызывало накопление этих двух элементов в наземной биомассе и снижало количество их антагонистов: алюминия и железа (табл. 3).

Кальций – элемент формирования биомассы – поглощается сильнее по мере увеличения дозы, что свидетельствует о его подвижности и усвоении из почвенной среды. Внесение реагентных осадков и компостов Юж. Бутово увеличило содержание Са в овсянице в 2,6 раз, безреагентного компоста КСА – в 2 раза. При значительной прибавке биомассы, содержание Са в рапсе с при внесении осадка и компоста было ниже, чем в контрольном варианте, что

связано с физиологической особенностью данного растения – высоким потреблением кальция из почвы. Аналогичная ситуация наблюдается для магния.

Содержание Al и Fe в растениях на контроле в основном выше, чем в вариантах с внесением осадка и компостов, что связано со снижением содержания этого элемента в почвосмесях и увеличением биомассы растений.

Т а б л и ц а 3

**Влияние дозы и способа внесения осадков и компостов Юж. Бутово и КСА на содержание макроэлементов, тяжелых металлов и стронция в биомассе растений**

Элемент	Райграс (урбанозем)				Рапс (агроурбанозем)			Овсяница (моренный суглинок)			
	контроль	Компост КСА			контроль	15 кг/м <sup>2</sup> осадок Юж. Бутово	20 кг/м <sup>2</sup> компост КСА	контроль	10% осадок Юж. Бутово	20% компост Юж. Бутово	20% компост КСА
		5 %	10%	20%							
<i>Макроэлементы и стронций, в мг/кг сухого веса</i>											
Ca	130	160	180	230	310	250	280	50	130	130	100
Mg	42	64	50	52	38	35	40	17	27	28	28
Al	1,5	1,0	0,7	0,5	0,9	0,7	0,4	1,4	0,9	1,7	0,3
Fe	2,9	2,8	1,5	1,5	1,6	1,4	1,2	2,0	1,7	2,5	1,0
Mn	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	1,8	1,6	1,5	0,7
Sr	0,4	1,1	0,6	0,8	1,1	0,7	0,7	0,2	0,3	0,4	0,6
<i>Тяжелые металлы, в мг/100г сухого веса</i>											
Cd	0,08	0,08	0,09	0,10	0,14	0,14	0,09	0,08	0,03	0,04	0,10
Cu	2,60	1,60	1,70	1,70	1,50	0,75	0,60	1,20	1,00	1,40	1,30
Ni	0,26	0,22	0,21	0,24	0,47	0,30	0,45	1,00	0,80	0,84	0,83
Pb	0,10	0,12	0,05	0,07	0,10	0,04	0,09	0,04	0,04	0,06	0,04
Cr	0,10	0,07	0,06	0,07	0,08	0,05	0,05	0,07	0,04	0,04	0,04
Zn	5,60	5,70	5,90	7,80	15,00	12,00	15,00	3,30	3,20	3,50	5,20

Содержание тяжелых металлов в сухой массе растений при внесении осадков и компостов Юж. Бутово при нормально-развитой биомассе во всех вариантах опыта не превышало показателей на контроле. Внесение компоста КСА также не вызвало существенного увеличения концентраций ТМ в биомассе растений. Сравнительный анализ макроэлементов и ТМ в биомассе райграса от способа внесения осадка (поверхностно или в почву) выявил устойчивое сходство показателей по всем 12 элементам, что объясняется их высокой биодоступностью из осадка и оптимальной агротехникой выращивания райграса.

Кадмий поступает в почву по мере разложения органического вещества, поэтому отмечалось увеличение его подвижных форм с внесением компоста. Это, вероятно, связано с конкуренцией за сорбционные места между Cd и Ca при деструкции органического вещества компоста. При внесении осадка Юж. Бутово содержание кадмия в биомассе райграса было значительно ниже контрольных значений. Вследствие высокого содержания и большого разнообразия функциональных групп, органическое вещество осадка и компостов обладает защитными свойствами, связывая загрязняющие вещества в малоподвижные комплексы.

При внесении компоста КСА в дозах >5% в биомассе райграса заметно снижалось содержание свинца. Позитивный эффект компоста отчасти связан с «эффектом ростового разбавления», а так же снижением подвижности Pb в почве в присутствии активной органики, увеличением емкости катионного обмена за счет присутствия в компосте Ca и Mg, а также сдвигом pH почвы в щелочной интервал [7].

В биомассе овсяницы наблюдалось повышение содержания Cu, Pb, Zn по отношению к контролю. Важно отметить, что Cu и Zn являются дефицитными элементами в почвах Московского и ряда других регионов РФ, особенно при снижении уровня применения минеральных и органических удобрений [8].

Содержание Sr в газонных травах при внесении компостов увеличивалось, а в рапсе снижалось. Данный эффект связан с тем, что рапс потребляет большое количество Ca, что пре-

пятствует поступлению в растения Sr. Это также подтверждается результатами анализа биомассы овсяницы: растения на варианте с внесением осадка и компоста Юж. Бутово содержали в 1,7 раз меньше Sr, чем с внесением компоста КСА. Важно отметить, что радиоактивные изотопы стронция в ОСВ г. Москвы отсутствуют [9].

**Выводы.** Проведенные агрохимические, санитарно-эпидемиологические и токсикологические исследования осадков сточных вод и компостов показали их соответствие требованиям, установленным нормативам. В современных условиях при анализе осадков наибольшее внимание следует уделять санитарно-эпидемиологическим показателям, поскольку содержание ТМ в осадках за последние годы устойчиво снижается, в связи с низкой промышленной нагрузкой и совершенствованием локальных методов очистки, радиационный фон также значительно ниже ПДК. Осадки и компосты являются ценным органическим веществом, способствуют повышению плодородия почв и как результат, увеличивают продуктивность выращиваемых культур. Рассматривая результаты анализа вегетативной массы растений, можно сделать вывод, что применение осадков в агрокультуре является экологически безопасным и рациональным способом и утилизации,

### Литература

1. Мерзлая Г.Е. и др. Эффективность осадков сточных вод в агроэкосистемах регионе // Бюллетень ВИУА им. Д.Н. Прянишникова. 2003. № 117. С. 209–211.
2. Стратегия использования осадков сточных вод и компостов на их основе в агрокультуре/ под ред. Н.З. Милащенко. М.: Агроконсалт, 2002. 140с.
3. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. М.: МГУ, 2001. 689 с.
4. ГОСТ 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. Введ. 2001-01-23. М.: Госстандарт России, 2001. С. 65–71.
5. Гунина Е.А., Пахненко Е.П., Грачев В.А., Николаев Ю.А. Эффективность применения осадков сточных вод новых и традиционных очистных сооружений г. Москвы // Труды КубГАУ. 2012. № 1. С. 54–57.
6. Федотов В. А., Гончаров С. В., Савенков В. П. Рапс России. М.: Агролига России, 2008. 328 с.
7. Авдонин, Н.С. Научные основы применения удобрений. М.: Колос, 1972. 320 с.
8. Курганова, Е.В. Плодородие и продуктивность почв Московской области. М.: Изд-во МГУ, 2002. 320 с.
9. Ушаков Д.И. Научное обоснование гигиенических принципов и критериев безопасного использования осадков сточных вод : автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2009. 25 с.

### AGROCHEMICAL, SANITARY-EPIDEMIOLOGICAL AND TOXICOLOGICAL STUDIES OF SEDIMENT WASTE WATER AND COSPOST OF MOSCOW CLEANING STRUCTURES, STABILITY OF FUNCTIONING IN AGROECOSYSTEMS.

E.P. Pakhnenko<sup>1</sup>, E.A. Gunina<sup>1</sup>, G.E. Merzlaya<sup>2</sup>, N.V. Kostina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov MSU, Moscow, Moscow, eugenia-golubeva@yandex.ru

<sup>2</sup>FBGNU "All-Russian Research Institute of Agrochemistry", Moscow

**Summary.** *There was made a complex study of sewage sludge and compost on their basis of two types: reagent and non-reactive. There was studied an influence of sediment and compost application on plant productivity and the content of macroelements and heavy metals in their vegetative mass.*

**Keywords:** *sewage sludge, organic matter, heavy metals, productivity, rapeseed, ryegrass, fescue.*

## ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В КОРИЧНЕВЫХ ПОЧВАХ АБРАУССКОГО ПОЛУОСТРОВА ПРИ АНТРОПОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Т.А. Полторацкая, В.Д. Приходько, А.Е. Пименова, К.Ш. Казеев

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, kamil\_kazeev@mail.ru

**Аннотация.** Проведено исследование содержания общего гумуса в коричневых почвах на Абраусском полуострове Черноморского побережья Кавказа. Содержание гумуса по сравнению с контрольным участком можжевельного редколесья в верхнем горизонте было в два раза ниже в постпирогенных почвах пожарища 2013 г. и в 12 раз меньше в агрогенных почвах виноградарства.

**Ключевые слова:** гумусовое состояние, субтропическое побережье, пожары, сельскохозяйственное использование, постпирогенные почвы.

Абрауский полуостров с одной стороны ограничен Цемесской бухтой, с другой стороны неразрушенным остатком хребта Навагир. Этот хребет защищает окрестности Новороссийска и Геленджика от северных ветров. Это самый крайний северный район сухих субтропиков на Северном Кавказе. Для него характерен климат сухих субтропиков с мягкой влажной почти бесснежной зимой и сухим летом. Горная система Кавказа, в этой самой западной его части, только начинает подниматься, горы имеют округлые формы и не большие отметки высот до 500-1000 метров, вследствие чего не являются препятствием на пути движения влажных западных воздушных масс, что и является причиной засушливости климата (500-600 мм осадков в год).

Уникальные экосистемы Абраусского полуострова, сохранившиеся в заповеднике «Утриш» представлены сухими восточно-средиземноморскими субтропиками с большим числом эндемиков и реликтов, сохранившимся с третичного периода. Это одно из немногих в России мест произрастания можжевельно-фисташковых редколесий. Флористический список заповедника включает 914 видов сосудистых растений [1]. Растительность этого ландшафта составляет реликтовая флора сухого средиземноморья, и поэтому в составе лесов кроме дуба, граба и сосны крымской, часто встречаются различные можжевельники, ксерофитные кустарники, сосна пицундская и фисташка.

Органическое вещество почвы придает ей уникальность свойств и режимов, обеспечивает многообразие выполняемых общебиосферных и биогеоценологических функций, в том числе агрономических [2]. Гумусовое состояние коричневых почв России и его изменение под действием разных антропогенных факторов недостаточно исследовано.

Ранее были проведены мониторинговые исследования флоры, фауны и почв Абраусского полуострова. Были выявлены особенности распределения биоты и почв в зависимости от местоположения, рельефа, горных пород и уровня антропогенной нагрузки [3-7]. Было выявлено, что неоднозначное значение для биоты и биологической активности содержания в почвах карбонатов кальция. Выщелоченные от карбонатов коричневые почвы и рендзины имеют пониженную реакцию среды, большую плотность, меньшую водопрочность агрегатов. В субтропических условиях на Черноморском побережье Кавказа содержание карбонатов в почвах не имеет такого определяющего значения на степень их биогенности и биологическую активность, как в более гумидных условиях Кавказа [8].

**Объекты и методы исследований.** Полевые исследования выполнены в мае 2018 года на трех участках Абраусского полуострова в окрестностях поселка Дюрсо в непосредственной близости от заповедника «Утриш». Первый участок – пожарище на средней части приморского склона. Древесно-кустарниковая растительность можжевельного редколесья сгорела здесь в 2013 году на общей площади несколько гектар. Географические координаты места отбора почвенных образцов на исследуемом участке пожарища – 44°41.245 с.ш.,

37°31.483 в.д. Высота над уровнем моря составляет 57 м. В 200 метров от первого учетной площадки исследован контрольный участок можжевельного редколесья. Участок виноградника был исследован в нескольких километрах от первых двух участков в сторону поселка Абрау-Дюрсо. Географические координаты – 44°41.868 с.ш., 37°34.505 в.д. Почвы на всех участках – коричневые выщелоченные каменистые на элювии песчаников. Мощность рыхлового слоя составляет 25-30 см. Проведенные в 2012–2016 годах исследования показали, что на большей части Абраусского полуострова, включая природный заповедник «Утриш», распространены коричневые почвы [5,7]. Главными признаками коричневых почв являются: коричневый цвет профиля, интенсивное текстурное оглинивание средней части профиля почвы, элювиально-иллювиальный тип декарбонизации, близкая к нейтральной реакция среды, богатство почвы элементами минерального питания.

Исследования почв проводили в составе комплексных экспедиций по общепринятым методам. Лабораторно-аналитические исследования содержания общего гумуса выполнены в лаборатории кафедры экологии и природопользования Южного федерального университета методом бихроматного окисления в кислой среде И.В. Тюрина в модификации Б.А. Никитина [9].

**Результаты исследований.** Генетический профиль лесной коричневой почвы исследуемой территории имеет некоторые отличия от описанных в литературе почв [10,11]. Различия обусловлены низкогорным рассеченным рельефом территории и скелетностью почв. Прежде всего, это более короткий почвенный профиль, высокая каменистость и щебенчатость, отсутствие карбонатных новообразований, наличие в некоторых случаях фрагментарной мало-мощной лесной подстилки.

Коричневая почва контрольного участка обладает высоким содержанием гумуса в верхнем горизонте – 11,2%. Содержание гумуса в мелкоземе горизонта АВ на глубине 15–25 см составляет 6,6%. Постпирогенная почва, спустя 5 лет после пожара, содержала почти вдвое меньшее содержание гумуса в поверхностном пятисантиметровом слое по сравнению с почвой контрольного участка можжевельного редколесья. Изменения коснулись не только поверхностного слоя почвы, но и нижележащих горизонтов. На глубине 15–25 см различия между почвами участками сохраняются на том же уровне, что и для верхних горизонтов. При этом в литературе отмечается, что пирогенное воздействие в разных почвах непосредственно затрагивает только поверхностные горизонты почв, и вглубь почвенного профиля изменения не проникают [12,13]. Следует отметить, что исследуемые почвы различались и по степени каменистости профиля. На контрольном участке каменистость профиля в средней части профиля составляет 50%, а на участке пожарища – объем щебня повышается до 80%. Этот факт еще больше увеличивает различия гумусового состояния исследуемых почв.

Ранее было установлено, что сельскохозяйственное использование почв Юга России приводит к снижению содержания гумуса. Степень снижения зависит от типа почв и от вида воздействия (пашня, пастбище, виноградник). В большей степени дегумификация затрагивает пахотные почвы. Потери гумуса при распашке степных почв могут достигать до 60% [14]. В предгорных и горных районах Кавказа потери гумуса при сельскохозяйственном использовании почв могут быть кратными вследствие сопутствующей эрозии в условиях господства склоновых территорий [15]. В настоящем исследовании установлено, что сельскохозяйственное использование коричневых почв приводит к резкому снижению содержания гумуса. В почве виноградника содержание гумуса было почти в 12 раз меньше, чем на контрольном участке можжевельного редколесья. Аналогичные высокие потери гумуса в почвах виноградников установили ранее и другие исследователи для коричневых почв Крыма [16]. Биологическая активность почв виноградников также значительно ниже, чем природных почв. Это установлено в настоящих исследованиях и при ранее проведенных исследованиях [4]. Подобные изменения связаны с плантажированием почвы, когда почва перепахивается плантажной вспашкой на большую глубину. Свою роль играют эрозия и общая дегумификация, связанная, в том числе, со снижением количества растительных остатков – источников гумуса.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки РФ (5.5735.2017/8.9) и ведущей научной школы РФ (НШ-3464.2018.11).*

### Литература

1. Демина О.Н., Рогаль Л.Л., Сулова Е.Г., Дмитриев П.А., Кожин М.Н., Серегин А.П., Быхалова О.Н. Конспект флоры Государственного природного заповедника «Утриш» // «Живые и биокосные системы». 2015. № 13.
2. Вальков В.Ф., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Кузнецов Р.В. Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты. Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального университета, 2008. 416 с.
3. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Кутровский М.А. Почвообразование на известняках и мергелях. Ростов н/Д: ЗАО «Ростиздат», 2007. 198 с.
4. Кутровский М.А., Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Экологические особенности рендзин Черноморского побережья Кавказа // Изв. вузов. Сев-Кав. регион. 2008. № 6. С. 97-101.
5. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Быхалова О.Н., Дмитриев П.А., Янкина К.О. Почвы и почвенный покров заповедника «Утриш» / Охрана биоты в государственном природном заповеднике «Утриш». Научные труды. Т.3. 2014. Майкоп: Полиграф-ЮГ. 2015. С. 17–44.
6. Казеев К.Ш., Черникова М.П., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Козунь Ю.С., Полуянова В.С., Быхалова О.Н. Биологическая диагностика экологического состояния почв мониторинговых площадок заповедника «Утриш» // Известия высших учебных заведений. Сев.-Кав. регион. Серия: Естественные науки. 2016. № 1 (189). С. 61-65.
7. Казеев К.Ш., Черникова М.П., Колесников С.И., Быхалова О.Н. Почвенный покров заповедника «Утриш». Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2015. 104 с.
8. Казеев К.Ш., Кутровский М.А., Даденко Е.В., Везденева Л.С., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Влияние карбонатности пород на биологические свойства горных почв Северо-Западного Кавказа // Почвоведение. 2012. № 3. С. 327-335.
9. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
10. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во Эверест, 2008. 276 с.
11. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Атлас почв Азово-Черноморского бассейна. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. 80 с.
12. Якимова А.С., Полторацкая Т.А., Черникова М.П., Казеев К.Ш. Влияние пожара на экологические свойства почв заповедника «Утриш» // Актуальные проблемы экологии и природопользования. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ. 2016. С.228-233.
13. Полторацкая Т.А., Якимова А.С., Одабашян М.Ю., Трушков А.В. Казеев К.Ш. Сравнительное исследование содержания органического углерода в постпирогенных почвах юга России / Экология и биология почв. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2017. С. 124-127.
14. Даденко Е.В., Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню // Почвоведение. 2014. №6. С. 724-733.
15. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Гумусовое состояние почв предгорий Северо-Западного Кавказа // Почвоведение. 1998. № 7. С. 848-853.
16. Казеев Д.К., Безус Е.И. Влияние агрогенеза на содержания гумуса в коричневых и дерново-карбонатных почвах / Матеріали міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції «Сучасні проблеми агроєкології». – Миколаїв: Миколаївська ДСДС ІЗЗ, 2017. С. 53.

### CHANGES OF HUMUS CONTENT IN BROWN SOILS OF THE ABRAU PENINSULA IN ANTHROPOGENIC IMPACT

T.A. Poltoratskaya, V.D. Prikhodko, A.E. Pimenova, K.Sh. Kazeev

Southern Federal University, Rostov-on-Don, kamil\_kazeev@mail.ru

**Summary.** *A study was made of the total humus content in cambisols on the Abraus peninsula of the Black Sea coast of the Caucasus. The humus content in comparison with the control plot of juniper bush in the upper horizon was two times lower in the post-pyrogenic soils of the fire in 2013 and 12 times less in the agrogenic soils of the vineyard.*

**Keywords:** *humus state, subtropical coast, fires, agricultural use, post-pyrogenic soils.*

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА АРИДНОЙ ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

А.С. Сапаров<sup>1,2</sup>, Т.М. Шарыпова<sup>1</sup>, Г.А. Сапаров<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ТОО «Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова», Республика Казахстан, Алматы, ab.saparov@mail.ru

<sup>2</sup> ТОО «Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды Центральной Азии», Алматы, ab.saparov@mail.ru

**Аннотация.** В статье приведены экологические проблемы почвенного покрова аридной территории Казахстана и пути их решения. На состояние почвенного покрова территории Казахстана оказало влияние современные экологические проблемы, возникшие в результате антропогенной перегрузки и нерационального использования природных ресурсов.

**Ключевые слова:** почвенный покров, аридные земли, опустынивание, экологические проблемы.

В настоящее время во многих регионах земли усиливается процесс аридизации – снижение увлажненности обширных территорий. Под угрозой пустынь находится 1/5 часть суши. Длительное воздействие человека на экосистемы аридных территорий вызвало возникновение и мощный рост деградации земель, которые приобрели в настоящее время глобальный характер. Наиболее высокий уровень опустынивания наблюдается в странах Африки, Азии и Латинской Америки. Особенно опасны и распространены эти процессы в развивающихся странах.

Причинами опустынивания в Казахстане являются как природные, так и антропогенные факторы.

По общим биоклиматическим условиям формирования почвенного покрова, определяющим основное направление почвообразовательных процессов, аридные территории Казахстана приурочены к широтным полупустынной и пустынной зонам. Для них характерна большая продолжительность летнего периода при высоких среднемесячных и среднегодовых температурах, высокая испаряемость, намного превышающая количество осадков (значение гидротермического коэффициента для полупустынной зоны составляет 0,3–0,5; для пустынной – 0,2–0,3), что обуславливает формирование почв аридных территорий характеризующихся малой гумусностью, высокой карбонатностью. Отличительным экологическим свойством почвенного покрова Казахстана является его комплексность, выражающаяся в пестром чередовании на небольшой площади разных видов почв и почвенных разностей. Комплексность почв является следствием засушливости климата, разнообразия рельефа, пестроты геологического строения и почвообразующих пород. Она во многом определяет особенности растительного покрова ландшафтов Казахстана, а также сельскохозяйственное использование земель.

Сегодня, в Казахстане повсеместно наблюдаются интенсивные процессы деградации и опустынивания, и около 75% почвенного покрова в зависимости от особенностей природных условий и их хозяйственного использования в разной степени деградированы, в том числе 26,2% пастбищ достигли крайней степени деградации и полностью деградированы. Основным природным фактором, способствующим развитию процессов опустынивания в Казахстане, является внутриконтинентальное положение страны, определяющее континентальность и засушливость климата, небольшой объем и неравномерность распределения водных ресурсов, обуславливающих широкое распространение песков (до 30 млн га) и солонцеватых и засоленных земель (94,4 млн га). Площади земель подверженных ветровой эрозии занимают 25,5 млн. га, водной – более 5 млн га, из них 1,6 на пашне, загрязненных тяжелыми металлами, химическими, радиоактивными веществами и радионуклидами – 21,5 млн га. Наибольшая эрозия почв наблюдается в условиях орошения, особенно при ирригации эрозия достигает 97 %.

Агропромышленный комплекс – важнейшая составная часть народного хозяйства Республики Казахстан. Острая проблема деградации почв проявляется в Северном Казахстане – зоне зернового земледелия. Наиболее негативное и комплексное воздействие на степные экосистемы Казахстана оказала массовая распашка целинных земель.

В зерносеющих районах севера республики 17,8 млн га земель потенциально подвержены дефляции и 2,6 млн га страдают от сильной ветровой эрозии. Площадь эродированных почв Северного Казахстана составляет 19,1 млн. га.

Основными зонами экологического стресса и деградации земель в Казахстане являются регионы Прикаспия и Приаралья. Так, в условиях Западного Казахстана (Атырауская, Западно-Казахстанская, Актюбинская и Мангистауская области) экологическая обстановка осложнена разработками месторождений нефти и газа. Здесь добываются свыше 90% нефти и 100 млрд м<sup>3</sup> газа. Нефтегазовая отрасль является одной из главных экологически опасных отраслей хозяйства, вызывающих загрязнение токсичными химическими веществами почву, атмосферный воздух, поверхностные и грунтовые воды. Прогрессирующий рост антропогенной нагрузки на почвенный покров, сильно осложнили экологическую обстановку нефтедобывающих регионов [1]. Основную нагрузку несут почвенный покров, подземные воды, органический мир. Наблюдается повышенное загрязнение атмосферы, которая насыщается вредными выбросами нефтяной промышленности. Глубина просачивания нефти в грунты достигает 1 м. Попадание нефти в почву приводит к загрязнению почвенного покрова. Территорию Актюбинской области относят к двум биогеохимическим провинциям: хромовой и борной, где одна из причин избытка этих элементов вызвана техногенным загрязнением окружающей среды.

На территории Мангистауской области также преобладает нефтегазоконденсатная промышленность. Почти вся территория пустынной зоны Мангистауской области является крупнейшим массивом природных кормовых угодий. Около 97% сельскохозяйственных угодий составляют пастбища.

На территории Западного Казахстана (испытательные ядерные полигоны «Капустин Яр», «Лира» и «Азгир») около 3-х млн. га почвенного покрова оказались загрязненными радиоактивным стронцием, цезием и плутонием;

Оздоровление экологической обстановки и рациональное хозяйственное использование природных ресурсов нефтепромыслов становится важной государственной задачей.

В Южном Казахстане обширные пространства обладают сложным и разнообразным рельефом. Невысокие горные хребты вдаются в пределы низменной полосы, разделяя ее на изолированные песчаные пустыни. Полоса пустынь образована песчаными массивами Восточного Приаралья, Кызылкумами, Мойынкумами и песками Южного Прибалхашья. Из современных рельефообразующих процессов более распространены процессы дефляции и перевывания песков, антропогенные процессы. На сероземах, серобурых и бурых почвах Южного Казахстана кроме снижения плодородия почв наблюдается интенсивное засоление и деградация почв. Основная экологическая проблема связана с высыханием Аральского моря. Процесс высыхания Аральского моря оказал воздействие на все природные компоненты региона. Проблема Аральского моря становится все более актуальной по мере возрастания политико-экономической напряженности в прилегающих к нему регионах. Бывшее ранее четвертым по величине озером в мире, сейчас Арал представляет собой далеко не вдохновляющее зрелище. С 1960-х годов уровень моря стал быстро снижаться из-за забора воды из основных питающих рек Амударья и Сырдарья. В 1989 году море распалось на два изолированных водоёма – Северное (Малое) и Южное (Большое) Аральское море. В 2014 году восточная часть Южного (Большого) Аральского моря полностью высохла.

В Приаралье почвы на площади 59,6 млн. га подвержены засолению, интенсивному развитию солепылевых потоков, которые распространяются, по данным космических съёмок, на расстояние до 500 км и их осаждение установлено на площади около 25 млн га

Ежегодные пыльные бури разносят соль на огромные территории Евразии. На прилегающих землях уровень соленых грунтовых вод поднялся до 1,5–2 метров, что привело к паде-



нию плодородия поливных земель в Приаралье [2]. Экологический кризис в Приаралье и решение проблемы оздоровления окружающей среды вызывают необходимость научной оценки степени антропогенного давления и изменений природных условий территории, разработки мероприятий по предотвращению дальнейшего опустынивания экосистемы, рациональному использованию и охране природных ресурсов [3].

По результатам многолетних исследований ученых института разработаны научные основы и подходы по рациональному использованию и сохранению плодородия почв и повышению биологической продуктивности трансформированных почв обсохшего дна Аральского моря. Результаты исследований сопровождались созданием почвенных карт (1956, 1968, 1990, 1996), на бумажной основе с использованием только топографической основы, без использования материалов космической информации. Широкое внедрение компьютерных технологий в конце прошлого и начале этого столетия существенно расширили горизонты научных исследований в почвоведении. Цифровые почвенные карты, составленные новыми методами с использованием космических фотоснимков позволяют получить более информативный почвенно-картографический материал с точным изображением ареалов почв, их комбинаций.

В настоящее время учеными института составлены почвенные карты: территории современной дельты р.Сырдарьи и обсохшего дна Аральского моря, зональных почв Восточного Приаралья, Южно-Казахстанской и Кызылординской областей, разработаны критерии нарушенности почв, принципы и способы картографирования антропогенной трансформации почв, карта баллов бонитета почв и карта агропроизводственной группировки почв и составлены рекомендации по их рациональному использованию.

Представленные цифровые карты являются первым опытом для территории Приаралья. Их преимущество, по сравнению с традиционными, связано не только с возросшей степенью достоверности за счет использования материалов дистанционного зондирования, незаменимость которых особенно проявляется при картировании равнинных территорий с преобладанием гидроморфных и полугидроморфных почв, но и главным образом, с информационностью и открытостью. На основе цифровых почвенных карт была создана трехмерная модель на территорию современной дельты р. Сырдарья и прилегающей части обсохшего дна Аральского моря (М 1:500000), которая была представлена на XVII Всемирном Конгрессе почвоведов (Таиланд, 2002). Так как обмеление Большого Арала усугубляет экологическую обстановку на прилегающей территории все это говорит о необходимости проведения широких почвенных исследований на территории Приаралья с целью создания новой почвенно-информационной системы, включающей современные сведения о свойствах почв и их пространственном распределении, послужит основой для разработки схем устойчивого развития региона.

Есть ли шанс спасти Аральское море? Если поторопиться, то это возможно. Для этого была построена плотина, отделившая два водоема. Малый Арал наполняется водой Сырдарьи и уже уровень воды повысился на 42 метра, уменьшилась соленость. Это позволило начать выращивание рыб. Соответственно есть шанс восстановить флору и фауну моря. Эти действия дают надежду местному населению, что вся территория Аральского моря будет возвращена к жизни.

На орошаемых полях дельты Сырдарьи – основной рисовой житницы Казахстана, происходит интенсивное загрязнение почв и грунтовых вод токсичными химическими веществами и радионуклидами. По данным ученых Казахского научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии им.У.У.Успанова» в почвах основных рисосеющих регионов Казахстана наблюдается превышение предельно-допустимой концентрации (ПДК) свинца, никеля и меди. Так, например, на древне дельтовых аллювиальных равнинах реки Сырдарьи на Шиелийском массиве рисосеяния отмечено превышение ПДК в 2 раза, как для подвижных, так и валовых форм свинца, в 1,5 раза подвижных форм никеля.

Высокая степень экологической напряженности складывается в Шу-Моинкумском и Балхаш-Алакольском регионах. После зарегулирования стока р. Или Капшагайским водохранилищем объем годового стока в низовьях снизился более чем на 25%. При этом в головной

части современной дельты р. Или усиливаются процессы обсыхания и засоления почв, в центральной части дельты – обсыхание, опустынивание и засоление, периферийной части дельты – опустынивание и деструкция почв. В перспективе эти процессы могут прогрессировать в связи с возможным увеличением объема забора воды в средней и верхней части реки. Все это ведет к постепенной деградации почвенно-растительного покрова, опустыниванию территории, снижению плодородия почв и продуктивности кормовых угодий [4]. На сероземах, серобурых и бурых почвах Южного Казахстана кроме снижения плодородия почв наблюдается интенсивное засоление и деградация почв.

Проблема нарушения и загрязнения почвенного покрова продолжает обостряться в регионах с развитой ресурсодобывающей и перерабатывающей промышленностью. Вблизи промышленных городов возникают биогеохимические аномалии с повышенными концентрациями тяжелых элементов, появляются техногенно-нарушенные земли и техногенный рельеф, отчуждаются и сокращаются площади земель сельскохозяйственного назначения.

Отрицательное воздействие полигонов, кроме прямого изъятия земель, выражается в падении несгоревших в атмосфере фрагментов ступеней ракет, разливов вокруг упавших ступеней высокотоксичного ракетного топлива (гептила) больших объемов сгорания кислорода. Исследования, проведенные во многих странах, показывают, что восстановление окружающей среды до первоначального состояния после падения ракеты требуют огромных затрат.

Говоря об экологическом состоянии почвенного покрова республики нельзя забывать о сильно деградированных пастбищных угодий от перевыпаса скота и нерационального их использования, которые следует также отнести к эродированным и нарушенным землям. Площадь составляет 179,9 млн. га, в том числе 48 млн. га в разной степени деградированных пастбищ. Нарушение экосистемы необходимо восстанавливать путем проведения мероприятий по улучшению этих угодий (подсев трав, введение пастбищеоборотов и т.д.).

Таким образом, можно сказать, что почвенно-экологическое состояние территории Казахстана крайне напряженное. Дестабилизация экологической обстановки достигла такой степени, что процессы самовосстановления почв стали невозможными. Для уменьшения отрицательного воздействия процессов деградации и опустынивания на состояние земельных угодий необходимо применение комплексных противоэрозионных мероприятий, а также переход на адаптивно-ландшафтную систему земледелия.

Вступив в новый век и столкнувшись с серьезнейшими проблемами в области окружающей среды у Республики Казахстан, как и у большинства других государств, решение этих проблем возведено в ранг государственной политики. В «Стратегии-2050» Республики Казахстан предусмотрены меры устойчивого развития аграрного сектора, в частности совершенствования существующих и разработка новых агротехнологий возделывания культур на основе сохранения и воспроизводства плодородия почв. Обеспечение продовольственной безопасности – один из главных трендов устойчивого развития страны в XXI веке.

Исходя, из вышеизложенного следует отметить, что для совершенствования систем земледелия необходимо проведения крупномасштабного комплексного картографирования, включающего оценку современного состояния и диагностику процессов деградации. Требуется разработка комплексных программ с решением проблем экологии и охраны почв и восстановления плодородия нарушенных почв, мероприятий по предотвращению дальнейшей деградации почв, восстановлению плодородия эродированных, дегумифицированных и техногенно-нарушенных земель, улучшению пастбищ и др.

Ученые Казахского НИИ почвоведения и агрохимии им. У.У.Успанова проводя фундаментальные и прикладные научные исследования в области почвенной и агрохимической науки, занимаются разработкой мероприятий по снижению и улучшению экологической ситуации почвенного покрова республики.

На основании почвенно-географических, почвенно-мелиоративных, почвенно-эрозионных и агрохимических исследований дана оценка почвам по всем природным зонам с использованием ГИС – технологий. Создан банк данных, включающих картографическую, аналитическую и текстовую информацию о почвах, и предоставляющих большие возможности для

развития новых направлений и применения электронных почвенных карт, выпущены рекомендации по охране и рациональному использованию почвенных ресурсов.

### Литература

1. Фаизов К.Ш., Раимжанова М.М., Алимбеков Ж.С. Экология Мангышлак-Прикаспийского нефтегазового региона. Алматы. 2003. 235 с.
2. Турсунов А.А. Отвратить беду / Арал: сегодня и завтра. Алма-Ата: Кайнар. 1990. С. 98–113.
3. Фаизов К.Ш., Тапалова А.С. Экология кризисной территории Приаралья. Проблемы и их решения. Алматы. 2003. 110 с.
4. Фаизов К.Ш., Кененбаев С.Б., Мамутов Ж.У., Есимбеков М.Б. География и экология почв Казахстана. Алматы: 2006. 347 с.

### ENVIRONMENTAL ASPECTS OF SOIL SURFACE OF THE ARID TERRITORY OF KAZAKHSTAN, PROBLEMS AND SOLUTIONS

A.S Saparov<sup>1,2</sup>, T.M. Sharypova<sup>1</sup>, G.A. Saparov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> LLP «U.U. Usпанov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry», Republic of Kazakhstan, Almaty, ab.saparov@mail.ru

<sup>2</sup> LLP «Research Center for Ecology and Environment of Central Asia», Almaty, ab.saparov@mail.ru

**Summary.** *The article deals with environmental problems of the soil surface of the arid territory of Kazakhstan and their solutions. Current environmental problems that resulted from anthropogenic overload and irrational use of natural resources have affected the state of soil surface of the territory of Kazakhstan.*

**Keywords:** *soil surface, arid lands, desertification, environmental problems.*

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ ПОЙМЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЬЮ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

**В.П. Середина, М.В. Носова**

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск,  
seredina\_v@mail.ru, nsmvsh@mail.ru

**Аннотация.** *Рассматриваются результаты полевых и аналитических исследований почв пойменных нефтезагрязненных экосистем Западной Сибири. Проведено сопоставление состояния загрязненных почв с фоновыми аналогами. Установлено, что нефтяное загрязнение нарушает функционирование естественных почвенных процессов и структурно-функциональную организацию основных параметров аллювиальных почв. Выявлено специфическое влияние углеводородного загрязнения на основные экологические функции почв.*

**Ключевые слова:** *Западная Сибирь, средняя тайга, аллювиальные почвы, нефтяное загрязнение, почвенные свойства, экологическое состояние.*

**Актуальность.** В условиях роста техногенной нагрузки на окружающую среду актуальными становятся вопросы оценки ее экологического состояния. Почвы – центральное и связующее звено между всеми компонентами биосферы, где протекают разнообразные миграционные циклы химических элементов. В то же время почва – малоподвижная природная система, миграция загрязняющих веществ в ней происходит крайне медленно, что способствует накоплению различных поллютантов. В условиях непрерывной эксплуатации углеводородного потенциала Западной Сибири происходит загрязнение почв при добыче, транспортировке нефти и нефтепродуктов. Экологические последствия загрязнения зависят от определенных параметров: состава и свойств нефти и нефтепродуктов, концентрации в почве, продолжительности воздействия. Интенсивность и скорость трансформации естественных почвенных процессов определяется устойчивостью к техногенным нагрузкам ландшафтно-геохимических систем.

Таким образом, особенности поведения и превращения углеводородов техногенного происхождения в почвенной толще весьма разнообразны и специфичны для тех или иных условий среды, поэтому их характеристика обладает высоким информативным потенциалом с точки зрения понимания и оценки происходящих в почве процессов [1]. Несмотря на значительное количество работ, посвящённых исследованию воздействия нефтяного загрязнения на экологическое состояние почв таёжных элювиальных ландшафтов Западной Сибири [1-5], закономерности поведения нефтепродуктов и почвах пойменных экосистем практически не изучены.

**Целью работы** является анализ особенностей влияния нефтяного загрязнения на экологические функции аллювиальных почв и выявление процессов трансформации их свойств при локальном воздействии углеводородного поллютанта.

**Объекты и методы исследования.** Объектами изучения являются почвы Советского нефтяного месторождения, расположенные в центральной части поймы р. Оби, а именно: почвы, загрязненные нефтью и нефтепродуктами, а также их фоновые (контрольные) аналоги. Нефтезагрязненные почвы отбирались на месте свежего нефтяного разлива, образовавшегося в результате аварии на промысловом трубопроводе. Методика включала сопряженный сравнительный анализ фоновых почв и почв, подверженных локальному нефтяному загрязнению, удалённых на различном расстоянии от эпицентра загрязнения. На месте залпового выброса было заложено два почвенных разреза: в эпицентре разлива и в 3 метрах от него, практически на краю визуального ореола загрязнения.

В ходе выполнения работы использовались следующие методы: сравнительно-географический, позволяющий установить связь между строением почв и соответствующего комплекса природных условий; профильно-генетический, позволяющий охарактеризовать

особенности морфологического строения почв и оценить их классификационную принадлежность; химико-аналитический, выполненный с применением общепринятых методик. Содержание нефтепродуктов определялось флуориметрическим методом.

**Обсуждение результатов.** Исследованные аллювиальные почвы являются интразональными почвами территории средней тайги Западной Сибири. Однако именно аллювиальные почвы занимают особое положение в поддержании устойчивости и продуктивности пойменных экосистем. В результате залповых выбросов порыва трубопроводного транспорта, основной негативный «пресс» приходится на корнеобитаемый слой и выражается в существенном нарушении основных экологических функций почв.

Для контроля изменения экологического состояния почв, подвергшихся углеводородному загрязнению, был заложен фоновый разрез (Р-1), представленный аллювиальной серогумусовой типично-глеевой средне мелкой тяжелосуглинистой почвой и имеющий следующее морфологическое строение:

АУ<sub>v</sub> 1 – 13 см. Окраска однородная, серо-бурая. Густо пронизан корневыми системами луговой растительности различной степени разложения. Переход ясный по составу почвенной массы, граница ровная.

АУ 13 – 21 см. Окраска однородная, серо-бурая. Многочисленные корни травянистой растительности. Уплотненный, свежий, мелкокомковатой структуры, легкосуглинистый. Переход постепенный по окраске, граница ровная.

АУС<sub>g</sub> 21 – 42 см. Окраска неоднородная, серо-бурая. Встречаются охристые пятна оксида железа (d около 1 см), серые пятна полуразложившегося органического вещества, присутствуют живые корни. Уплотненный, свежий, мелкокомковатой структуры, среднесуглинистый. Переход ясный по окраске, граница ровная.

ИС<sub>1g</sub> 42 – 59 см. Окраска неоднородная с сизоватым оттенком. Наблюдаются многочисленные охристые пятна оксида железа и сизоватые пятна полуразложившихся корней, вытянутые в вертикальном направлении. Уплотненный, свежий, мелкоореховатый, тяжелосуглинистый. Переход ясный по окраске и плотности, граница ровная.

ПС<sub>2g</sub> 59 – 76 см. Окраска неоднородная, сизоватая. Встречаются охристые пятна оксида железа (d 0,7 – 1,5 см). Видны тонкие корешки. Уплотненный, свежий, бесструктурный, супесь. Переход ясный по окраске и плотности, граница ровная.

ПШ<sub>3g</sub> 90 – 100 см. Окраска неоднородная, сизоватая. Представлен чередующимися слоями бурой, ржавой и сизой окраски различной интенсивности и мощности (мощность сизых полос намного меньше по сравнению с бурыми полосами). Рыхлый, свежий, бесструктурный, песчаный.

В эпицентре ореола свежего нефтяного разлива был описан разрез (Р-2), вскрывающий хемозем нефтезагрязненный по аллювиальной серогумусовой типично-глеевой почве.

Направленность миграционных процессов в почвах является важным фактором их самоочищения. В объектах исследования, рассеяние углеводородов произошло в двух направлениях – латеральном (плоскостной сток) и радиальном (вертикальный сток), что затруднило дифференциацию горизонтов почвенного профиля. В связи с этим, образцы почв отбирались послойно (0-10, 10-20, 20-40 см и т.д.)

АУ<sub>v,x</sub> 0 – 10 см. Однородный, темно-серый, почти черный, бесструктурный с цементированными глыбистыми включениями с маслянистыми пленками на гранях агрегатов, тяжелосуглинистый, на поверхности присутствует битуминозная корка, вязкий, мокрый, уплотнен, разнонаправленные корни растительных остатков, пропитан нефтью с характерным сильным запахом, переход по окраске и структуре не заметен, границы не дифференцируются.

АУ<sub>x</sub> 10 – 20 см. Однородный, темно-серый, почти черный, бесструктурный, тяжелосуглинистый, вязкий, сырой, уплотнен, присутствуют корни растительных остатков, пропитан нефтью с характерным сильным запахом, переход по окраске не заметен, границы не дифференцируются.

АУС<sub>g,x</sub> 20 – 40 см. Неоднородный, темно-серый с легким буроватым оттенком, бесструктурный с цементированными глыбистыми включениями, тяжелосуглинистый, вязкий, сырой,

уплотнен, степень замазученности ниже, чем в предыдущих горизонтах, переход по окраске не заметен, границы не дифференцируются.

IC<sub>1g,x</sub> 40 – 60 см. Неоднородный, темно-серый с охристыми и сизыми пятнами оглеения, бесструктурный с цементированными глыбистыми включениями, тяжелосуглинистый, влажный, уплотнен, загрязнение определяется визуально и по запаху, переход по окраске слабо заметен, границы дифференцируются слабо.

IC<sub>2g,x</sub> 60 – 80 см. Неоднородный, темно-палево-бурый с охристыми и сизыми пятнами оглеения, бесструктурный, среднесуглинистый, влажный, уплотнен, загрязнение определяется визуально и по запаху, переход по окраске заметен, границы дифференцируются слабо.

IIIС<sub>3g,x</sub> 80 – 100 см. Неоднородный, темно-палевый с охристыми и сизыми пятнами оглеения, бесструктурный, тяжелосуглинистый, влажный, уплотнен, загрязнение определяется визуально и по запаху.

Почва, заложенная в 3 м от эпицентра загрязнения (Р-3), диагностирована как хемозем нефтезагрязненный по аллювиальной серогумусовой типично-глееватой почве. В ней выделяются следующие горизонты:

AУ<sub>x</sub> 0 – 10 см. Однородный, темно-серый, бесструктурный с цементированными глыбистыми включениями в маслянистой пленке, тяжелосуглинистый, присутствует слабовыраженная битуминозная корка, вязкий, мокрый, уплотнен, присутствуют корни растительных остатков, пропитан нефтью переход по окраске не заметен, границы не дифференцируются.

AУ<sub>x</sub> 10 – 20 см. Однородный, темно-серый, бесструктурный с цементированными глыбистыми включениями, тяжелосуглинистый, вязкий, сырой, уплотнен, присутствуют корни растительных остатков, пропитан нефтью, переход по окраске не заметен, границы не дифференцируются.

AУС<sub>g,x</sub> 20 – 40 см. Неоднородный, темно-серый с лёгким буроватым оттенком и пятнами оглеения, бесструктурный, тяжелосуглинистый, вязкий, сырой, уплотнен, степень замазученности ниже, чем в предыдущих горизонтах, переход по окраске заметен, границы слабо дифференцируются.

IC<sub>1g,x</sub> 40 – 60 см. Неоднородный, темно-серый с охристыми и сизыми пятнами оглеения, бесструктурный, тяжелосуглинистый, влажный, уплотнен, загрязнение определяется визуально и по запаху, переход по окраске слабо заметен, границы слабо дифференцируются.

IC<sub>2g,x</sub> 60 – 70 см. Неоднородный, темно-палево-бурый с охристыми и сизыми пятнами оглеения, бесструктурный, среднесуглинистый, влажный, уплотнен, загрязнение определяется визуально и по запаху, переход по окраске заметен

Сопоставление профилей фоновой и углеводородно-загрязненных почв, показало, что в хемоземах выявляется ряд черт, приобретенных в результате нефтяного воздействия, которое привело к трансформации морфологического облика почвы. Основными отличиями нефтезагрязненных почв от их фонового аналога является наличие маслянистой пленки в почвенной массе, более выраженная степень оглеения, интенсивный запах нефти и цементация отдельных почвенных агрегатов. Нефть пропитала почву в месте разлива до глубины более 1 метра, и ее избыток образовал на поверхности почвы битуминозную корку.

Согласно данным результатов флуориметрического анализа, содержание нефтепродуктов в нефтезагрязненных почвах колеблется в пределах от 11,34 до 6,53 г/100 г почвы, уменьшаясь по мере удаления от эпицентра загрязнения к импактной зоне в латеральном направлении, и в радиальном – по мере увеличения глубины почвенного профиля.

Окраска гумусированных горизонтов загрязненной почвы неестественно темная по сравнению с фоновой, что объясняется привнесением дополнительных органических поллютантов. В пропитанной нефтью свежезагрязненной почве центра нефтяного пятна существенно увеличивается по сравнению с фоновой почвой количество общего углерода до 10,7%, в то время как в фоновой почве его содержание составляет 5,4%. Гумусное состояние – важнейшее интегральное свойство почв. Можно утверждать, что резкие изменения его состояния негативно отразятся на таких важных экологических функциях почв, как буферный биоценотический экран, санитарная функция, депо элементов питания и влаги, ингибитор и стимулятор

биохимических процессов. Почва является хранилищем семян и влаги, выполняя опорную функцию. Опасность нефтяного загрязнения связана с высокой чувствительностью к нему высших растений, используемых для конечного этапа рекультивации – фитомелиоративного посева нефтестойких трав.

Установлено, что под воздействием нефти в почве кардинально изменяются ее водно-физические свойства, являющиеся одними из важнейших параметров для благоприятного роста и развития растений. Резкое увеличение сорбционной воды (максимальная гигроскопическая влага) в верхних слоях нефтезагрязненных почв (14,99 %) по сравнению с фоновой (7,70 %), указывает на ослабление межмолекулярных сил между частицами почвы и воды, приобретение почвой гидрофобных свойств и водоустойчивости. Под влиянием поллютанта происходит существенное увеличение одной из важнейших почвенно-гидрологических характеристик – влажности завядания. В фоновых образцах данный параметр более чем в 2 раза ниже (10,30 %), чем в свежезагрязненной почве эпицентра нефтяного пятна (22,48%) и на периферии нефтяного разлива (20,98%). При этом наиболее резкие скачки значений наблюдаются именно в верхней части профилей загрязненных почв, что свидетельствует о высоком содержании в корнеобитаемых слоях влаги, недоступной для растений. Полная влагоемкость в хемоземах низкая, отличается четкой тенденцией к уменьшению в верхних (17,63 и 19,43%) и постепенным увеличением к самым нижним (28,27 и 33,13%) слоям почв. В фоновой почве наблюдаются противоположный тренд: максимум величины полной влагоемкости отмечается в гумусированных горизонтах (75,50%) и снижается по мере движения к материнской породе до 36,00%, что свидетельствует о минимальной способности нефтезагрязненных почв поглощать и удерживать влагу. В процессе загрязнения в центре нефтяного пятна отмечается полное отсутствие в верхних горизонтах диапазона активной влаги и минимальные значения данного параметра в нижней части почвенного профиля (1,97–2,52%). В почве, приуроченной к импактной зоне, наблюдается иная картина. В данную зону нефть от эпицентра загрязнения поступила в результате поверхностного стока, и в процессе латеральной миграции лишилась основной части своих тяжелых (смолисто-асфальтеновых) фракций. Вероятно поэтому, по мере удаления от очага загрязнения, начинает восстанавливаться диапазон активной влаги (до 6,52%), и, соответственно, производительная способность почв.

Добыча углеводородного сырья в условиях гумидного почвообразования сопровождается специфическими, не имеющими аналогов в природных условиях, явлениями техногенного галогенеза. Наличие и развитие данного процесса в почвах имеет важное значение при оценке их экологического состояния. Анализ геохимического распределения солей указывает на то, что максимальное содержание солей отмечается в верхних горизонтах ядра ореола загрязнения эпицентра разлива (0,35%), минимум – на его периферии, в импактной зоне (0,30%), при заметном уменьшении содержания водорастворимых солей вниз по профилям соответственно (0,16% и 0,14%). Тип химизма в вертикальном направлении остается одинаково слабым и сульфатно-натриевым, однако с наличием характерных сопутствующих данному типу засоления токсичных солей – NaCl и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Внедрение Na<sup>+</sup> в почвенный поглощающий комплекс и вытеснение им катионов, определяющих кислотность аллювиальных почв (5,27), вызывает заметное возрастание значений pH в хемоземах до 7,82, и сдвиг реакции в щелочную сторону. В связи с ослаблением санитарной и защитной буферной экологических функций почв, при посеве нефтестойких трав, в отсутствие принятия соответствующих мер, данные изменения вызовут угнетение роста и развития растений, что не позволит завершить процесс рекультивации на данных почвах.

**Заключение.** Под влиянием техногенных потоков значительно изменяется морфологический облик аллювиальных почв: окраска становится более темной, тяжелые фракции нефти, цементируя плодородный слой, создают на поверхности почв битуминозную корку. Битуминозная корка является индикатором высокой степени загрязнения, препятствуя дальнейшему разложению нефтепродуктов. Важным следствием воздействия нефтяного поллютанта является приобретение почвой фитотоксичности, на что указывает наличие в гумусированных горизонтах почв легкорастворимых солей, особую опасность из которых представляют NaCl

и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , увеличение общего органического углерода за счет привноса техногенных углеводов нефти и установление щелочной реакции среды. Количественное и качественное ухудшение основных параметров почвенно-гидрологических констант, а также отсутствие в корнеобитаемом слое нефтезагрязненных почв диапазона активной влаги, являющегося важным фактором роста и развития растений, указывает на снижение биопродуктивности почв. Данные процессы свидетельствуют об ухудшении основных экологических функций почв и подчеркивают исключительную важность исследования почвенных систем аккумулятивных позиций ландшафтов, где данные изменения могут происходить не только вследствие непосредственного воздействия нефти, но и при ее латеральной миграции с повышенных элементов рельефа.

### Литература

1. Середина В.П., Колесникова Е.В., Кондыков В.А., Непотребный А.И., Огнев С.А. Особенности влияния нефтяного загрязнения на почвы средней тайги Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. 2017. № 5. С. 108-112. DOI 10.248887/0028-2448-2017-5-108-122
2. Середина В.П., Садыков М.Е. Почвы нефтяных месторождений средней тайги Западной Сибири и прогнозная оценка опасности загрязнения органическими поллютантами // Сибирский экологический журнал. 2011. Вып. 18 № 5. С. 617-623.
3. Середина В.П., Непотребный А.И., Садыков М.Е. Характер изменения свойств почв нефтезагрязненных экосистем в условиях гумидного почвообразования // Вестник КрасГАУ. 2010. № 10. С. 49-54.
4. Середина В.П., Непотребный А.И., Огнев С.А. Особенности техногенного галогенеза при загрязнении нефтью почв бореального пояса // Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове сборник материалов V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ (7-11 сентября 2015 г., г. Томск, Россия) под ред С.П. Кулижского (отв. ред.), Е.В. Каллас, А.В. Родиковой, Т.А. Новокрещенных. Томск: Издательский дом ТГУ, 2015. С. 364-368.
5. Середина В.П., Андреева Т.А., Алексеева Т.П., Бурмистрова Т.И., Терещенко Н.Н. Нефтезагрязненные почвы: свойства и рекультивация. Томск: Изд-во ТПУ, 2006. 270 с.

### ECOLOGICAL STATE OF SOILS OF CONDITION ECOSYSTEMS IN CONDITIONS OF LOCAL POLLUTION OF OIL (WESTERN SIBERIA)

V.P. Seredina, M.V. Nosova

National Research Tomsk State University, Tomsk, seredina\_v@mail.ru, nsmvsh@mail.ru

**Summary.** *This article reviews data of field and experimental soils' researches of West Syberia's flood-plain oil-contaminated ecosystems. A comparison of the state of contaminated soils with control samples. It's established that oil contamination disrupts stable functioning of nstural process and stucturally-functional organisation of alluvial soils'. Specific influence of hydrocarbon pollution on major ecological functions of soils was revealed.*

**Keywords:** *Western Siberia, middle taiga, alluvial soils, oil pollution, soil properties, environmental condition.*



## ВЛИЯНИЕ АЭРОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ

Т.И. Сиромля

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [tatiana@issa.nsc.ru](mailto:tatiana@issa.nsc.ru)

**Аннотация.** *Исследован элементный химический состав различных видов лекарственных растений юга Западной Сибири. Установлено, что аэрогенное загрязнение вызывает повышенную пыленность видов со специфическими анатомо-морфологическими особенностями – Artemisia sieversiana Willd и Urtica cannabina L. Это приводит к увеличению валового содержания многих исследованных ХЭ, существенная часть которых находится не в растительных тканях, а в мелкодисперсных почвенных частицах, осевших на их поверхности. Выявлены корреляционные зависимости между концентрацией данных ХЭ, зольностью растений и содержанием остатка золы, нерастворимого в 10 % HCl. Обнаружена статистически значимая разница в элементном химическом составе "запыленных" и "чистых" растений.*

**Ключевые слова:** *почвы, лекарственные растения, химические элементы, аэрогенное загрязнение, пыленность, зольность, Artemisia sieversiana Willd, Urtica cannabina L.*

**Актуальность.** Геохимическая среда обитания живых организмов, особенно растительных, оказывает прямое воздействие на их элементный химический состав [1-3 и др.], поэтому весьма актуальным является комплексный подход к изучению поведения химических элементов (ХЭ) и форм их соединений именно в системе почва-растение. К сожалению, вопросы фолиарного поступления ХЭ в растения рассматриваются в основном в зарубежных работах [4–8 и др.] и крайне редко – в российских [9, 10]. Данный путь поступления ХЭ в растения может играть существенную роль в условиях антропогенного загрязнения атмосферы, в том числе мелкодисперсными почвенными частицами [11], обогащенными ХЭ [5], причем содержание некоторых элементов в этих частицах может быть на порядок выше, чем в почве в целом [12].

Лекарственные растения, широко применяемые как в народной, так и в официальной медицине, имеют в своем составе не только целые группы различных биологически активных веществ, но также эссенциальные макро- и микроэлементы [13], причем наряду с ними могут содержать и потенциально опасные химические соединения [14].

Наши более ранние работы [10, 15] выявили для отдельных видов растений определенные зависимости между их зольностью и содержанием некоторых ХЭ. Слабая изученность данного вопроса, а также ограниченность информации об элементном химическом составе лекарственных растений региона [14–18 и др.], особенно во взаимосвязи с почвенным покровом, делает исследования подобного характера весьма актуальными как в теоретическом плане, так и в области практического применения, что, безусловно, доказывает необходимость дальнейшего продолжения и расширения научно-исследовательских изысканий, посвященных биогеохимии и экологии лекарственных растений.

Цель данной работы – выявить и оценить изменения элементного химического состава различных видов лекарственных растений юга Западной Сибири в зависимости от аэрогенного загрязнения. Для решения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: 1) исследовать элементный химический состав различных видов лекарственных растений юга Западной Сибири; 2) определить их общую зольность, содержание остатка золы, нерастворимого в 10% HCl, и оценить соответствие данных параметров требованиям Государственной Фармакопеи (ГФ); 3) провести корреляционный анализ между содержанием в растениях ХЭ, их зольностью и содержанием остатка золы, нерастворимого в 10 % HCl; 4) выявить статистически значимую разницу в элементном химическом составе «запыленных» и «чистых» растений.

**Объекты и методы исследования.** Работы проводились на юге Западной Сибири (Приобская возвышенная равнина, Колывань-Томская возвышенность, долина р. Оби), в качестве

объектов исследования были использованы образцы почв (0-20 см) и надземной части дико-растущих травянистых двудольных растений, отобранных в фазу цветения (18 видов, принадлежащих к 11 ботаническим семействам). Пробные площадки закладывались на фоновых и антропогенно преобразованных территориях – вдоль крупных автотрасс, в городских парках и скверах, на территории дачных обществ. На каждой площадке отбиралось не менее 5 индивидуальных проб почв и растений, из которых составлялась средняя проба. Всего было отобрано 80 проб почв и от 12 до 65 проб растений каждого вида, в зависимости от их распространенности на исследуемых территориях.

Общую зольность и количество золы, не растворимой в 10% HCl, определяли согласно Государственной фармакопее Российской Федерации 2015 г. [19]. Общее содержание ХЭ определяли после сухого озоления методом атомно-эмиссионной спектроскопии, в качестве стандартов использованы отраслевой стандартный образец состава травяной муки злаковой (гранулированной) (ТМЗг-01) ОСО № 10-176-2011 и стандартный образец состава листа березы (ЛБ-1) ГСО 8923-2007. Полученные результаты определения ХЭ в стандартах укладывались в их аттестованные значения. Содержание ХЭ приведено в пересчете на абсолютно-сухое вещество.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили при помощи пакета программ SNEDECOR и STATISTICA 6.1. Нормальность распределения исследуемых ХЭ оценивалась по критериям Уилка-Шапиро, проверка гипотез о равенстве дисперсий в нормально распределенных выборках проводилась по критериям Кохрена. Поскольку для большинства исследуемых ХЭ было выявлено аномальное распределение данных, статистическая значимость различий определялась по методу Краскела-Уоллиса, корреляционный анализ был выполнен по методу Спирмена. Критический уровень значимости  $p$  во всех случаях принимался равным 0,05.

**Результаты и обсуждение.** Большинство исследованных видов растений, за исключением *Artemisia sieversiana* Willd и *Urtica cannabina* L., а также некоторых видов-концентраторов отдельных ХЭ, оказались довольно близки по элементному химическому составу, причем не было обнаружено статистически значимых отличий между растительным сырьем фоновых и антропогенно преобразованных территорий. Подобное явление вызвано высокой внутривидовой вариабельностью содержания ХЭ в пробах, что уже отмечалось нами ранее [17, 18, 20, 21 и др.] и вполне соответствует литературным данным [22, 23], в том числе и по исследуемому региону [24, 25].

Прежде чем перейти к рассмотрению выявленных особенностей содержания ХЭ в *A. sieversiana* и *U. cannabina*, необходимо акцентировать внимание на том, что только у данных видов часть исследованных образцов не соответствовала требованиям ГФ [19] по общей зольности и остатку золы, нерастворимой в 10% HCl. В связи с этим было проведено сравнение содержания ХЭ в пробах, соответствующих и несоответствующих вышеуказанным требованиям, называемых в дальнейшем «чистыми» и «запыленными», при этом была выявлена статистически значимая разница в количестве некоторых ХЭ, а также обнаружено, что концентрация ХЭ в «чистых» пробах в целом соответствует верхней части диапазона их содержания в растениях остальных исследованных видов. Для примера на рисунке представлено содержание ХЭ, статистически значимо отличающее в «запыленных» и «чистых» растениях *A. sieversiana*.

Подобное явление объясняется, вероятно, специфическими анатомо-морфологическими особенностями вышеуказанных видов – растения густо опушены длинными мягкими волосками [26]. Зависимость содержания ХЭ в растительном сырье от анатомо-морфологических особенностей отмечалась и ранее – Н.И. Латышевской и А.С. Стрекаловой [27] было обнаружено, что опушенные виды концентрируют ХЭ в большей степени, чем менее опушенные. В работе Т.М. Минкиной и др. [28] также установлено, что в условиях техногенного загрязнения наибольшие количества ХЭ накапливают в надземной части амброзия, полынь и пижма – также относительно опушенные виды.

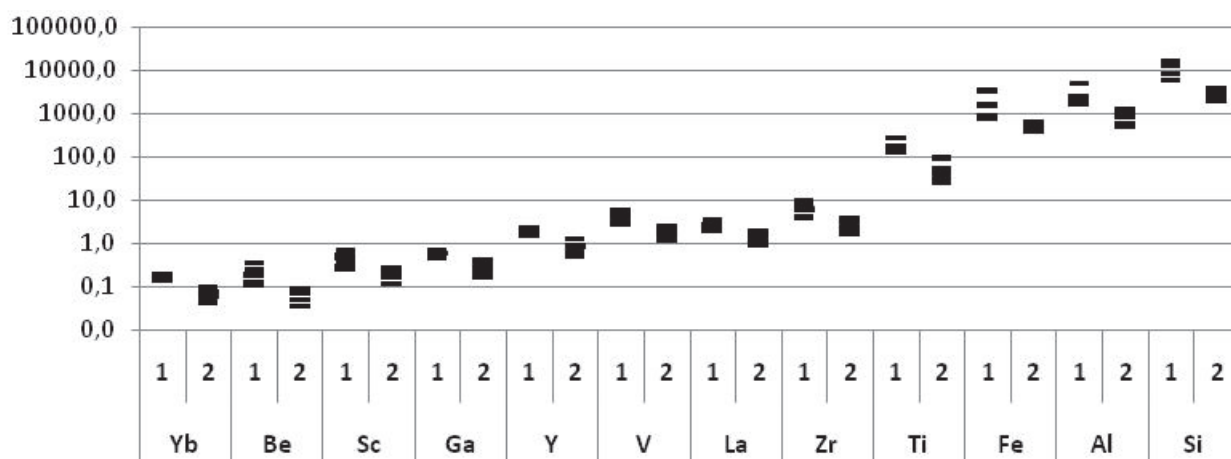


Рис. 1. Валовое содержание ХЭ в надземной части *A. sieversiana*, мг/кг а.с.в.  
(1 – «запыленные», 2 – «чистые» образцы)

Полученные нами результаты позволяют предположить, что существенная часть ХЭ в опушенных растениях может содержаться не в растительных тканях, а в мелкодисперсных почвенных частицах, осевших на их поверхности. Особенно хорошо это подтверждает не общая зольность растений, а содержание остатка золы, нерастворимого в 10 % соляной кислоте – показатель, нормируемый в фармакопейных исследованиях и позволяющий оценить долю примесей преимущественно минерального происхождения. Выявлена прямая корреляционная связь между данным параметром и валовым содержанием в *U. cannabina* Si ( $R_s > 0,95$ ), Al, Co, Fe, Ti, V, Zr ( $R_s \sim 0,7-0,9$ ), Be, Ga, La, Na, Pb, Sc ( $R_s \sim 0,5-0,6$ ). У *A. sieversiana* корреляционная зависимость выражена еще сильнее, для вышеуказанных ХЭ  $R_s$  повышается до 0,8–0,9 и дополнительно проявляется у Cd, Cr, Mn, Ni, Y и Yb ( $R_s \sim 0,6-0,7$ ). Дополнительно можно отметить, что запыленность всех исследованных видов растений практически не оказывает влияния на содержание в них биофильных элементов – K, P, Mg, Ca (его близких аналогов Sr и Ba), B, Cu, Zn.

**Заключение.** На юге Западной Сибири элементный химический состав большинства исследованных дикорастущих травянистых двудольных видов растений, за исключением *A. sieversiana* и *U. cannabina*, а также некоторых видов-концентраторов отдельных ХЭ, в целом довольно близок. Между лекарственным растительным сырьем фоновых и антропогенно преобразованных территорий статистически значимых отличий также не выявлено. Это связано с высокой внутривидовой вариабельностью содержания ХЭ в растениях и слабым уровнем загрязнения исследуемой территории.

Часть исследованных образцов *A. sieversiana* и *U. cannabina* не соответствовала требованиям ГФ по общей зольности и остатку золы, нерастворимой в 10 % HCl. Между "чистыми" и "запыленными" пробами выявлена статистически значимая разница в содержании ряда ХЭ. Анатомо-морфологические особенности данных видов являются причиной того, что значительная часть ХЭ содержится не в растительных тканях, а в мелкодисперсных почвенных частицах, осевших на их поверхности.

### Литература

1. Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 302 с.
2. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 610 с.
3. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton, FL: Crc Press., 2010. 548 p.
4. Lozak, A., Soltyk, K., Ostapczuk, P., Fijalek Z. Determination of selected trace elements in herbs and their infusions // Science of the Total Environment. 2002. Т. 289. P. 33-40.
5. Ma X., Geiser-Lee J., Deng Y., Kolmakov A. Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: phytotoxicity, uptake and accumulation // Science of the Total Environment 2010. Т. 16. P. 3053-3061.

6. Uzu G., Sobanska S., Sarret G. et al. Foliar lead uptake by lettuce exposed to atmospheric fallouts // *Environmental Science and Technology*. 2010. Т. 44. P. 1036-1042.
7. Bermudez G.M.A., Jasan R., Plá R.R., Pignata M.L. Heavy metals and trace elements in atmospheric fall-out: their relationship with topsoil and wheat element composition // *Journal of Hazardous Materials*. 2012. Т. 213-214. P. 447-456.
8. Schreck E., Foucault Y., Sarret G. et al. Metal and metalloid foliar uptake by various plant species exposed to atmospheric industrial fallout: mechanisms involved for lead // *Science of the Total Environment*. 2012.Т. 427-428. P. 253-262.
9. Копылова Л.В. Фолиарное поступление тяжелых металлов в древесные растения // *Вестник КрасГАУ*. 2013. № 12. С. 126-133.
10. Загурская Ю.В., Сиромля Т.И. Элементный химический состав *Leonurus quinquelobatus* на юге Западной Сибири // *Материалы междунар. науч. конф. «Роль ботанических садов и дендрариев в сохранении, изучении и устойчивом использовании разнообразия растительного мира»*. Минск: Меди-сонт, 2017, Ч. 2. С. 53-56.
11. Amato F., Pandolfi M., Viana M. et al. Spatial and chemical patterns of PM10 in road dust deposited in urban environment // *Atmospheric Environment*. 2009. Т. 43. P. 1650-1659.
12. Siromlya T.I., Khudyaev S.A., Syso A.I. Using SRXFA in Ecological Soil Studies on the Territory of Novosibirsk // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. 2015. Т. 79. № 1. С. 89-93.
13. Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М. и др. Почему растения лечат. М.: Ленанд, 2014. 288 с.
14. Гравель И.В., Шойхет Я.Н., Яковлев Г.П., Самылина И.А. Фармакогнозия. Экотоксиканты в лекарственном растительном сырье и фитопрепаратах. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. 304 с.
15. Сиромля Т.И., Мяделец М.А. Формы соединений химических элементов в лекарственных растениях // *Труды IX Международной биогеохимической школы "Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии"*. Барнаул. 2015. Т. 2. С. 182-185.
16. Егорова И.Н. Содержание тяжелых металлов и радионуклидов в сырьевых лекарственных растениях Кемеровской области: Автореф. дис. канд. биол. наук. Томск, 2010. 21 с.
17. Сысо А.И., Сиромля Т.И., Мяделец М.А., Черевко А.С. Эколога-биогеохимическая оценка элементного и биохимического состава растительности антропогенно нарушенных экосистем (на примере *Achillea millefolium* L.) // *Сибирский экологический журнал*. 2016. № 5. С. 782-792.
18. Загурская Ю.В., Баяндина И.И., Сиромля Т.И. и др. Качество сырья лекарственных растений при выращивании в антропогенно нарушенных регионах Западной Сибири на примере *Hypericum perforatum* L. и *Leonurus quinquelobatus* Gilib // *Химия растительного сырья*. 2013. № 4. С. 141-150.
19. Государственная фармакопея Российской Федерации XIII издания. Т. 2. М.: Мин. Здрав. РФ, 2015. 1004 с.
20. Мяделец М.А., Сиромля Т.И. Особенности экологического состояния почвенно-растительного покрова вдоль автомагистралей и в рекреационных зонах г. Новосибирска // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 5. URL: [www.science-education.ru/128-22706](http://www.science-education.ru/128-22706) (дата обращения: 19.11.2015).
21. Сиромля Т.И., Остроухова Е.Г. Содержание и особенности распределения химических элементов в растениях сем. *Asteraceae* юга Западной Сибири // *Материалы Международной школы-семинара молодых исследователей «Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах»*. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2018. С. 279-285.
22. Сибгатуллина М.Ш. Металлы в дикорастущих растениях Татарстана и факторы, определяющие их содержание: Автореф. дис. канд. биол. наук. Казань, 2009. 23 с.
23. Сосорова С.Б., Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л. Содержание микроэлементов в лекарственных растениях разных экосистем озера Котокельского (Западное Забайкалье) // *Химия растительного сырья*. 2016. №2. С. 5359.
24. Синдирева А.В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе почва – растение – животное: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Тюмень, 2012. 36 с.
25. Фещенко В.П. Мониторинг тяжёлых металлов на сельскохозяйственных угодьях Новосибирской области: Автореф. дис. канд. биол. наук. Новосибирск, 2015. 20 с.
26. Красноборов И.М., Ломоносова М.Н., Шауло Д.Н. и др. Определитель растений Новосибирской области. Новосибирск: Наука, СО РАН, 2000. 492 с.
27. Латышевская Н.И., Стрекалова А.С. Экологические проблемы заготовки лекарственного растительного сырья в рекреационной зоне промышленного центра // *Вестник ОГУ. Приложение*. 2006. № 5. С. 192-194.

28. Минкина Т.М., Манджиева С.С., Чаплыгин В.А. и др. Влияние аэротехногенных выбросов на содержание тяжелых металлов в травянистых растениях Нижнего Дона // Почвоведение. 2017. № 6. С. 759-768.

## **EFFECT OF AEROGENIC CONTAMINATION ON THE CHEMICAL ELEMENTS COMPOSITION OF PLANTS**

T.I. Siromlya

Institute of Soil Science and Agrochemistry of SB RAS, Russia, Novosibirsk, tatiana@issa.nsc.ru

**Summary.** *The content of chemical elements in phytomass of different species of medicinal plants growing in the south of West Siberia was examined. The aerial deposition was found to increase dust content in species of certain anatomy and morphology, such as Artemisia sieversiana Willd and Urtica cannabina L. The presence of dust resulted in the increased total content of many examined chemical elements, essential portion of which was shown to be concentrated in the particulate soil matter deposited on the surfaces of plant organs. The content of these chemical elements in phytomass, phytomass ash content and ash residue insoluble in 10% HCl acid were shown to be positively correlated. The difference in chemical elements content between ‘clean’ and ‘dusty’ plants was found to be statistically significant.*

**Keywords:** *soils, drug plants, chemical elements, aerogenic contamination, dust deposition, phytomass ash content, Artemisia sieversiana Willd, Urtica cannabina L.*

# РАДИОНУКЛИДЫ В МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВАХ ЯКУТИИ

П.И. Собакин

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, radioecolog@yandex.ru

**Аннотация.** Рассматриваются содержание и распределение естественных ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ ) и искусственных ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $\text{Pu}$ ) радионуклидов в мерзлотных почвах Якутии. Показано, что в естественных ландшафтах содержание  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  в почвах зависит от геохимических особенностей почвообразующих пород, их минералогического и гранулометрического состава. В условиях техногенных ландшафтов установлена степень влияния водного и воздушного путей поступления  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в почвенный покров на их вертикальное распределение по глубине. Современные уровни глобальных выпадений  $^{137}\text{Cs}$  в мерзлотных почвах Якутии меньше, чем в почвах Урала, Западной и Южной Сибири. Показано, что в зоне воздействия аварийного подземного ядерного взрыва «Кратон-3» плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $\text{Pu}$  в почвах существенно превышают региональные глобальные их уровни выпадения.

**Ключевые слова:** Якутия, криолитозона, естественные и искусственные радионуклиды, урановые месторождения, глобальные выпадения, подземные ядерные взрывы, загрязнение, почва, распределение.

Республика Саха (Якутия) самый крупный субъект Российской Федерации, расположенный на северо-востоке криолитозоны России. На её территории имеются крупнейшие месторождения алмазов, олова, сурьмы, редкоземельных элементов, железа, урана, каменного угля, разведаны большие запасы природного газа и нефти [1]. На территории Республики в последней трети прошлого века выполнялись широкомасштабные геологические изыскания радиоактивного сырья, было проведено 12 подземных ядерных взрывов, из которых два признаны аварийными [2, 3]. Кроме того, регион неоднократно подвергался загрязнению долгоживущими искусственными радионуклидами в результате ядерных испытаний на Новой Земле и крупной радиационной аварии на Чернобыльской АЭС [4]. В настоящее время остаются слабо изученными закономерности миграции естественных и искусственных радионуклидов в мерзлотных почвах криолитозоны, в том числе и в Якутии. Вместе с тем, в обширной зоне преимущественно сплошной многолетней мерзлоты формируются уникальные ландшафты со специфическими почвами, флорой и фауной, характерными только для криолитозоны и требующие особого подхода для их исследования. Целью настоящей работы было изучение закономерностей миграции и распределения естественных ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ ) и искусственных ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $\text{Pu}$ ) радионуклидов в мерзлотных почвах Якутии.

**Объекты и методы исследования.** Исследования равнинной и горной частей территории Якутии проведены на 25 участках, включая места аварийных подземных ядерных взрывов (АПЯВ) и законсервированные геологоразведочные участки на уран. В естественных ландшафтах зоны тундры и тайги почвенные разрезы закладывали по их элементам (пойма, надпойменная терраса, водораздел) геохимически сопряженным по стоку. На техногенных участках почвенные разрезы располагали на разном расстоянии от источников загрязнения (отвалы радиоактивных пород, АПЯВ) по направлению ветрового и водного переноса радионуклидов на местности. Отбор образцов почв из разрезов вели послойно через 1-2, 3-5, 5-10 см и более до глубины 100 см с учетом площади и границ генетических горизонтов. В подготовленных образцах почв содержание  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  определяли гамма-спектрометрическим и рентгено-спектральным, а  $^{90}\text{Sr}$  и  $\text{Pu}$  – радиохимическими методами.

**Обсуждение результатов.** Результаты радиоэкологического обследования показали, что содержание  $^{40}\text{K}$  в изученных типах почв изменяется от 0,004 до 0,069%,  $^{238}\text{U}$  – от 0,4  $\cdot 10^{-4}$  % до 7,0  $\cdot 10^{-4}$ %,  $^{232}\text{Th}$  – от 0,4  $\cdot 10^{-4}$  % до 19,6  $\cdot 10^{-4}$  % (табл. 1). Наиболее высокое содержание  $^{238}\text{U}$  обнаружено в горно-тундровых подбурах хребта Улахан-Чистай, сформированных на суглинистом элювио-делювии коренных гранитных пород с исходно высоким содержанием  $^{238}\text{U}$ . Формирующиеся на средних и тяжёлых суглинках тундрово-глеевые, палевые, дерново-луговые, дерново-карбонатные почвы содержат в среднем в 1,8 раза больше  $^{238}\text{U}$ , чем тунд-

рово-глиевые, мерзлотно-таёжные и тундровые подбуры на песчаных и легкосуглинистых отложениях. В целом, в обследованных типах мерзлотных почв Якутии средние концентрации  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  близки к уровню их фоновых концентраций в почвах в других регионах России [5]. Вертикальное распределение естественных радионуклидов (ЕРН) по глубине зависит от их химических свойств, ландшафтного расположения почв, неоднородности состава почвообразующих пород, почвообразовательных, криогенных и пирогенных процессов. Совокупное влияние всех этих факторов в изученных мерзлотных почвах формирует четыре типа внутрипрофильного распределения ЕРН: аккумулятивно-иллювиальное, элювиально-иллювиальное, равномерное и неравномерное. На участках урановых месторождений Якутии (Агей, Гурга, Эльконское плато, Курунг и Дружное) на удалении до 2 км от радиоактивных отвалов по направлению ветрового и водного переноса, концентрация  $^{238}\text{U}$  в почвах варьирует от  $5 \cdot 10^{-4}$  до 4,6 %, а  $^{226}\text{Ra}$  – от  $0,8-1,5 \cdot 10^{-10}$  до  $7,2 \cdot 10^{-8}$  %, что превышает их фоновые значения до четырех порядков величин. По уровню загрязненности  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  эти почвы можно расположить в следующий убывающий ряд: лугово-болотные оторфованные > аллювиальные > подбуры, причём концентрация урана в лугово-болотных оторфованных почвах выше норм, установленных для твёрдых радиоактивных отходов [6]. Вертикальное распределение ЕРН в почвенном профиле в условиях техногенного загрязнения зависит от времени и пути их поступления в почвенный покров, химических свойств радионуклидов и, в какой-то мере, почвообразовательных процессов. В почвенном профиле горно-тундрового подбура на хребте Улахан-Чистай  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  распределяются по аккумулятивно-иллювиальному, а в горно-таёжного подбура на Алданском нагорье – аккумулятивному типу. Отметим, что на исследованных техногенных участках загрязнение почв за счет выдувания мелкодисперсных фракций с поверхности радиоактивных отвалов на хребте Улахан-Чистай и Алданского нагорье началось 57 и 40 лет назад соответственно. В профиле аллювиальных и лугово-болотных оторфованных почв вертикальное распределение  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  сложное. Это, возможно, обусловлено разной формой их нахождения в водном стоке, поступающем из отвалов в почву во время паводков. Уран из отвалов мигрирует преимущественно в составе жидкого, а радий – твёрдого стоков, что связано с химическими свойствами радионуклидов и особенностями состава сульфидных радиоактивных пород, формирующих химический состав водного стока. Уран аккумулируется в верхней и погребённой органогенной части почв, что связано с его сорбцией из воды во время затопления поймы. На разном удалении от отвалов в профиле аллювиальных и лугово-болотных оторфованных почв  $^{226}\text{Ra}$  распределяется неравномерно и без проявления каких-либо чётких общих закономерностей. Повышенные концентрации урана и радия в аллювиальных почвах высокой поймы водотоков (реки, ручьи) обнаруживаются по вектору стока на протяжении нескольких десятков километров от источников загрязнения (отвалы).

В настоящее время в мерзлотных почвах автоморфных ландшафтов Якутии уровни глобальных выпадений  $^{137}\text{Cs}$  варьируют от 366 до 2465 Бк/м<sup>2</sup>. Если сравнить эти результаты с данными аэрогамма-спектральных съёмок [7], включая 1974 г., то в настоящее время количество  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Якутии снизилось примерно в 3-4 раза за счет его физического распада, заглубления, выноса с поверхностными водами и аккумуляции растительностью. При этом наибольшее количество  $^{137}\text{Cs}$  содержится в почвах горных районов (Алданское нагорье и хребет Улахан-Чистай), находящихся в зоне с максимальным среднегодовым количеством осадков, а наименьшее – в почвах тундровой зоны. Корреляционный анализ выявил статистически достоверную положительную связь ( $r=0,94$ ,  $P=0,95$ ) между средним количеством осадков и средней плотностью загрязнённости почв  $^{137}\text{Cs}$ . Такая зависимость хорошо аппроксимируется полиномиальной функцией второй степени. В целом можно отметить, что в обследованных районах равнинной и горной частей Якутии глобальные выпадения  $^{137}\text{Cs}$  в почвах в среднем в 2–4 раза меньше, чем в почвах Урала, Западной и Южной Сибири.

Содержание ЕРН в мерзлотных почвах (0–100 см) Якутии

Район исследований	Ландшафты (почвы)	n*	<sup>40</sup> K, n %	<sup>238</sup> U, n·10 <sup>-4</sup> %	<sup>232</sup> Th, n·10 <sup>-4</sup> %	Гранулометрический состав	Почвообразующие породы
Остров Земля Булге	Арктическая тундра (тундровая глеевая)	8	0,013 0,011-0,015	1,2 1,0-1,4	4,2 1,2-7,2	Песчаный	Аллювиальные отложения
	Субарктическая тундра (тундровые глеевые)	42	0,015 0,006-0,020	1,3 0,8-1,4	7,8 0,6-10,6	Среднесуглинистый	Озерно-аллювиальные отложения
Анабаро-Оленекская низменность	Субарктическая тундра (подбур тундровый)	15	0,023 0,019-0,024	1,0 0,6-1,1	4,4 2,0-7,8	Супесчаный	Озерно-аллювиальные отложения
	Субарктическая тундра (тундровые глеевые)	174	0,011 0,010-0,014	1,4 1,0-2,4	6,8 1,8-9,8	Легко- и среднесуглинистый	Озерно-аллювиальные отложения
Яно-Индигирская низменность	Субарктическая тундра (тундровые глеевые)	120	0,015 0,006-0,020	2,4 0,4-3,2	8,2 1,2-12,5	Средне- и тяжелосуглинистый	Озерно-аллювиальные отложения
	Северная тайга (дерново-карбонатные)	132	0,026 0,005-0,034	2,5 1,2-5,8	5,3 0,4-7,7	Тяжелосуглинистый	Элюво-делювий доломитов и известняков
Быгантайское холмогорье	Северная тайга (мерзлотно-таёжные)	26	0,017 0,005-0,021	1,6 0,4-2,4	6,2 1,2-11,4	Легкосуглинистый	Элюво-делювий песчаников и алевролитов
Абыйская низменность	Северная тайга (мерзлотно-таёжные)	41	0,015 0,005-0,022	1,5 0,4-2,3	7,3 1,2-9,5	Легко- и среднесуглинистый	Озерно-аллювиальные отложения
	Северная тайга (подбурья, подзолистые)	82	0,019 0,005-0,028	1,4 0,8-2,5	5,5 2,4-7,5	Легкосуглинистый	Элюво-делювий туфопесчаников и известняков
Момская котловина	Горная тундра (подбурья горно-тундровые)	121	0,016 0,005-0,022	3,5 1,0-5,4	8,7 4,2-14,3	Среднесуглинистый	Элюво-делювий гранитов (биогитовые, аляскитовые)
	Тундра (горно-тундровые глееватые)	58	0,019 0,012-0,022	1,1 1,0-1,3	7,4 4,5-10,2	Легкосуглинистый	Моренно-флювиогляциальные отложения
Высокогорная равнина Улахан-Чистай	Средняя тайга (палевые)	285	0,020 0,006-0,028	2,1 0,5-2,6	10,6 2,1-15,4	Средне- и тяжелосуглинистый	Аллювиальные отложения
	Средняя тайга (мерзлотно-таёжные)	182	0,017 0,008-0,028	1,3 0,6-2,7	4,6 0,8-11,6	Песчаный	Аллювиальные отложения
Центрально-Якутская равнина	Алас (дерново-луговые)	278	0,020 0,006-0,028	2,7 1,1-7,0	12,4 2,4-16,0	Средне- и тяжелосуглинистый	Аласные отложения
	Верхняя и средняя тайга (подзолистые)	438	0,017 0,008-0,026	1,5 0,6-3,8	5,4 1,0-12,1	Супесчаный, легко- и среднесуглинистый	Элюво-делювий кристаллических сланцев и гнейсов
Алданское нагорье (Южная Якутия)	Средняя тайга (подбурья горно-таёжные)	546	0,031 0,004-0,069	1,2 0,4-3,3	6,9 1,0-19,6	Супесчаный, легко- и среднесуглинистый	Элюво-делювий кристаллических сланцев и гнейсов

\*n – число проб; в числителе – среднее значение, в знаменателе – min-max.



Относительно высокие уровни загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  обнаруживаются в аккумулятивных формах рельефа, в аласах, поймах рек, мерзлотных западинах, ложбинах и др. В почвах элювиальных участков ландшафтов  $^{137}\text{Cs}$  концентрируется в органогенной части профиля (дернина, перегнойно-гумусовый и гумусовый горизонты), с глубиной его содержание резко снижается. При этом глубина проникновения  $^{137}\text{Cs}$  в почвах этих ландшафтов в зависимости от их водного режима и гранулометрического состава изменяется от единиц до нескольких десятков сантиметров. В профилях почв гидроморфных ландшафтов  $^{137}\text{Cs}$  распределяется более равномерно.

Т а б л и ц а 2

Плотность загрязнения почв (0–40 см) радионуклидами по оси радиоактивного следа ПЯВ «Кратон-3»

№	Расстояние от устья скважины, м	Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{239,240}\text{Pu}$	$^{238}\text{Pu}$	$\frac{^{90}\text{Sr}}{^{137}\text{Cs}}$	$\frac{^{239,240}\text{Pu}}{^{137}\text{Cs}}$
			кБк/м <sup>2</sup>					
1	80	80	516,3	266,7	9,0	0,380	0,52	0,017
2	190	270	1628,3	841,2	23,8	1,240	0,52	0,015
3	550	55	228,9	70,5	5,4	0,191	0,31	0,024
4	1000	23	61,7	14,5	1,3	0,050	0,23	0,021
5	1450	61	211,7	156,5	3,2	0,165	0,74	0,015
6	1980	28	91,5	65,4	1,4	0,087	0,71	0,015
7	2180	30	113,3	101,3	1,6	0,102	0,89	0,014
8	2730	60	219,8	24,7	2,9	0,124	0,11	0,013
9	3030	23	114,4	38,8	1,0	0,032	0,34	0,010
10	3240	15	47,7	10,9	0,6	0,023	0,23	0,013
11	3740	10	18,4	5,9	0,4	0,036	0,32	0,022

В результате радиационной аварии 1978 г., имевшей место при проведении подземного ядерного взрыва (ПЯВ) «Кратон-3», из скважины в атмосферу мгновенно поступило примерно  $6,3 \cdot 10^{11}$  Ки радиоактивных материалов [8]. Из них 97,9 % выпало на водораздельную поверхность р. Марха (приток р. Вилюй) вблизи места проведения взрыва по преобладающему направлению ветра, образуя ближний радиоактивный след. В настоящее время в зоне воздействия АПЯВ «Кратон-3» интегральные запасы  $^{137}\text{Cs}$  в почве составляют:  $1,9 \cdot 10^{11}$  Бк (5,1 Ки);  $^{90}\text{Sr}$  –  $9,7 \cdot 10^{10}$  (2,6 Ки);  $^{239,240}\text{Pu}$  –  $3,0 \cdot 10^9$  (0,08 Ки) и  $^{238}\text{Pu}$  –  $1,8 \cdot 10^8$  (0,005 Ки). Плотности загрязнения почв на разном расстоянии по оси радиоактивного следа от устья скважины составляют для  $^{137}\text{Cs}$  – 1628,3–18,4,  $^{90}\text{Sr}$  – 841,2–5,9,  $^{239,240}\text{Pu}$  – 23,8–0,4 и  $^{238}\text{Pu}$  – 1,24–0,023 кБк/м<sup>2</sup>, что превышает их уровни глобальных выпадений в почвенном покрове в данном районе на один-три порядка величин (табл. 2). Отметим, что в исследуемом районе глобальные уровни загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239,240}\text{Pu}$  на водораздельных пространствах составляют обычно 744–987, 550–720 и 28–56 Бк/м<sup>2</sup> соответственно. В почвах водораздельного склона сохраняется однотипный характер распределения искусственных радионуклидов, когда максимальное их содержание приурочено к верхнему 0–8 см слою почвы с резким падением градиента концентраций вниз по профилю. Обнаруженные на высокой пойме р. Марха в аллювиальных почвах погребенные горизонты с высоким содержанием  $^{137}\text{Cs}$  на разном расстоянии (0,19, 92 и 625 км) от места проведения взрыва по вектору стока указывают на залповый перенос стоком реки радионуклидов во время высоких по уровню паводков в впервые годы после радиационной аварии. В почвах, сформированных на водоразделе, в верхнем слое (0–8 см)  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  находятся преимущественно в малоподвижных формах, доля которых составляет 91–98 % от их валового количества.

**Заключение.** Концентрации  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  в мерзлотных почвах Якутии связаны с геохимическими особенностями почвообразующих пород и их минералогическим и гранулометрическим составом. При этом вертикальное распределение ЕРН по глубине зависит от их химических свойств, ландшафтного расположения почв, неоднородности состава почвообразующих пород, почвообразовательных, криогенных и пирогенных процессов. В условиях техногенного загрязнения на вертикальное распределение  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в профиле почв существенно влияет преобладание воздушного или водного путей поступления из отвалов радио-

активных горных пород, а также формы их нахождения в составе загрязнений. В настоящее время уровни глобальных выпадений  $^{137}\text{Cs}$  в мерзлотных почвах автоморфных ландшафтов Якутии меньше, чем в почвах Урала, Западной и Южной Сибири. Выявлена корреляция между плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  почв и количеством атмосферных осадков. В целом для мерзлотных почв характерна слабая вертикальная миграция  $^{137}\text{Cs}$  по глубине. В зоне аварийного ПЯВ «Кратон-3» на водораздельном склоне р. Марха (правый приток р. Вилюй) сохраняется неблагоприятная радиозэкологическая обстановка, характеризующаяся мозаичностью радионуклидного загрязнения почвенного покрова. Несмотря на то, что после радиационной аварии прошло много времени, максимальная плотность загрязнения почв на самом близком к устью скважины участке (190 м) составляет: для  $^{137}\text{Cs}$  – 1628,3 кБк/м<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 841,2 кБк/м<sup>2</sup>,  $^{239,240}\text{Pu}$  – 23,8 кБк/м<sup>2</sup> и  $^{238}\text{Pu}$  – 1,2 кБк/м<sup>2</sup>, что на 2-3 порядка величин превышает уровни их глобальных выпадений в данном районе.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания ИБПК СО РАН на 2017-2020 гг. по разделу радиационный мониторинг и радиозэкологии мерзлотных ландшафтов Якутии (0376-2018-0001; рег. номер АААА-А17-117020110056-0).*

### Литература

1. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / А.В. Прокопьев, В.Б. Спектор, Б.М. Козьмин, В.С. Имаев и др.; Отв. ред. Л.М. Парфенов и М.И. Кузьмин. М.: МАИК «Интерпериодика», 2001. 571 с.
2. Собакин П.И., Молчанова И.В. Миграция тяжелых естественных радионуклидов в почвенно-растительном покрове в условиях техногенного загрязнения // Экология. 1998, № 2. С. 98-101.
3. Чевычелов А.П., Собакин П.И., Молчанова И.В. Радиоактивное загрязнение мерзлотных почв  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  продуктами аварийного подземного ядерного взрыва // Почвоведение. 2006, № 12. С. 1512–1519.
4. Иванов А.Б., Красилов Г.А., Логачев В.А., Матущенко А.М., Сафронов В.Г. Северный полигон Новая Земля – радиозэкологические последствия ядерных испытаний. М.: Наука, 1997. 68 с.
5. Лунев М.И., Орлов П.М. Содержание естественных радионуклидов в почвах сельскохозяйственных угодий России // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: матер. III междунар. конф. Томск: СГТУ, 2009. С. 325–328.
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Гигиенические нормативы. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России. 2009. 72 с.
7. Болтнева Л.И., Израэль Ю.А., Ионов В.А., Назаров И.М. Глобальное загрязнение  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  и дозы внешнего облучения на территории СССР // Атомная энергия. 1977. Т. 42. Вып. 5. С. 355–358.
8. Собакин П.И. Естественные и искусственные радионуклиды в мерзлотных почвах Якутии. Автореф. дис....док. биол. наук. Улан-Удэ, 2015. 38 с.

### RADIONUCLIDES IN PERMAFROST SOILS OF YAKUTIA

P.I. Sobakin

Institute of biological problems of cryolithozone SB RAS, Yakutsk, radioecolog@yandex.ru

**Summary.** *The content and distribution of natural ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$ ) and artificial ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  and  $\text{Pu}$ ) radionuclides in the permafrost soils of Yakutia are considered. It is shown that in natural landscapes the content of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  in soils depends on geochemical features of soil-forming rocks, their mineralogical and granulometric composition. In the conditions of technogenic landscapes of the degree of the influence of water and air routes the flow of  $^{238}\text{U}$  and  $^{226}\text{Ra}$  soil cover in their vertical distribution throughout the depth of the soil. Current levels of global  $^{137}\text{Cs}$  deposition in permafrost soils of Yakutia are less than in soils of the Urals, Western and Southern Siberia. It is shown that in the zone of emergency underground nuclear explosion «Kraton-3» the pollution density of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  and  $\text{Pu}$  in soils significantly exceeds their regional global levels of deposition.*

**Keywords:** *Yakutia, cryolithozone, natural and artificial radionuclides, uranium deposits, global fallout, underground nuclear explosions, pollution, soil, distribution.*

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОСЛЕЛЕСНЫХ ПОЧВ СРЕДНЕГОРИЙ АДЫГЕИ

В.П. Солдатов, В.Д. Приходько, А.Е. Пименова, О.Ю. Ермолаева, К.Ш. Казеев

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, kamil\_kazeev@mail.ru

**Аннотация.** *Спустя 8 лет после сведения леса были проведены исследования свойств дерново-карбонатных почв среднегорий Адыгеи. Исследования показали изменения физических и биологических свойств послелесных почв, которые зависят от степени повреждения почвенно-растительного покрова при рубке и тралевки леса. На участках сильного нарушения отмечено ухудшение экологического состояния почв, на участках слабого повреждения биоразнообразие и биологическая активность повышается. Активность  $\beta$ -фруктофуранозидазы может служить хорошим биоиндикатором экологического состояния послелесных почв.*

**Ключевые слова:** *ферментативная активность, биодиагностика, вырубка леса, антропогенное воздействие.*

Леса Западного Кавказа представляют собой наиболее разнообразные и продуктивные природные экосистемы России. Наибольшее сосредоточение они достигают в условиях предгорий и низкогорий. В настоящее время происходит сильная деградация лесных массивов из-за постоянного вмешательства людей. К таким антропогенным воздействиям относят строительство туристической инфраструктуры в Краснодарском крае, линий электропередач, дорог. Была повышена рекреационная нагрузка в связи с проведением Олимпийских игр в Сочи. Также следует отметить ущерб от промышленных лесозаготовок. Таким образом, в связи с вышеперечисленными факторами происходит массовая вырубка леса. Следует отметить, что экосистемы, которые подвергались антропогенным воздействиям, сильно отличаются от лесных экосистем. Заметна сильная деградация растительности, изменение фауны и главных экологических факторов. Сложившиеся неблагоприятные факторы способствуют развитию уплотнения, смыву, процессам обесструктурирования почв и полной их деградации. Из-за горной местности эти условия ухудшаются образованием водной эрозии на склонах. Важную роль здесь играют условия гумидного климата, т. е. высокая степень увлажнения горных почв.

Цель исследовательской работы – исследование изменений экологических свойств послелесных дерново-карбонатных почв Западного Кавказа и получение итоговых результатов.

Дерново-карбонатные почвы (рендзины) южно-европейской фации образованы на выходе известняково-мергелистых или карбонатных пород. В силу своей экологической интразональности встречаются во всех биоклиматических условиях, от тропиков до полярных областей, и везде эти почвы имеют как общие черты, так и общую интразональную специфику. На Северном Кавказе они занимают около 4,3% площади региона. Рендзины распространены на площади 1 миллион 218 тысяч гектар на Северном Кавказе в горных условиях под разными растительными ассоциациями на элювии карбонатных пород [1]. По классификации 1977 г. они относятся к очень теплой периодически промерзающей фации дерново-карбонатных почв. По современной классификации почв России рендзины называются карболитоземами темногумусовыми. Главные особенности почвообразования определяются процессами выщелачивания, гумусонакопления и оглинивания, развитие которых и их особенности на известковых породах обусловлены, прежде всего, влиянием карбонатов кальция [2-5]. Генезис почв на карбонатных породах отличаются от условий почвообразования зональных бурых и серых лесных почв Кавказа.

**Объекты и методы исследований.** Территория, на которой проводились исследования, расположена в нескольких километрах от пос. Гузерипль (Адыгея) на высоте 1200–1600 м над уровнем моря. Возраст вырубок на момент наблюдения составлял 8 лет. Почвы иссле-

дуемой территории – дерново-карбонатные (рендзины) выщелоченные слабокаменистые суглинистые на элювии известняков.

Исследования растительности, химико-биологических и физических свойств почвы, почвообразующих пород проводили в составе комплексных экспедиций по общепринятым методам. Полевые исследования выполнены 19-20 июня 2018 года. Исследовали две разные вырубki, находящиеся в нескольких километрах друг от друга. Были отобраны образцы почв из мест с разной степенью нарушения почвенного покрова. Их выявили по глубине скальпирования почвы, степени ее перемешивания и погребения в результате работы тяжелой техники. Уровень нарушения изменялся от леса до дороги, т. е. от самого слабого до самого сильного. В соответствии с антропогенной нагрузкой выделили участки со слабым, средним, сильным и очень сильным уровнем нарушения почвы. В качестве контроля были исследованы участки буково-пихтового леса на границах с вырубками.

Лабораторно-аналитические исследования выполнены на кафедре экологии и природопользования Южного федерального университета с использованием общепринятых в экологии, биологии и почвоведении методов [6]. Плотность почвы определяли с помощью буров Качинского весовым методом в 3-кратной повторности. Температуру почв определяли полойно электронным термометром HANNA CHESTEMP. Влажность почвы определяли весовым методом и в полевых условиях влагомером с датчиков Dataprobe в 10-кратной повторности на каждом участке. Реакцию среды определяли потенциометрически. Активность инвертазы определяли методом Ф.Х. Хазиева.

**Результаты исследований.** Видовой состав флоры на участках вырубki со средним и, особенно, слабым нарушением впоследствии через несколько лет существенно превысил биоразнообразие на контрольных участках леса. Это связано с краевым (опушечным) эффектом. Луговая высокотравная растительность высотой до 150-200 см полностью покрыла поверхность вырубki на этих участках. Только участки с сильным повреждением почвенного покрова вследствие сильной эрозии слабо зарос луговыми травами. Динамика восстановительной сукцессии на исследуемых вырубках была представлена ранее [7,8].

Свойства почв исследуемых участков двух вырубок были значительно изменены после антропогенного нарушения. Было зафиксировано значительное превышение плотности почвы по сравнению с показателями почвы леса. Повышение значений плотности была тесно связано со степенью повреждения поверхности почв при рубке и тралевке леса. Увеличение значений на участках с сильным нарушением произошло до высокого уровня 1.43–1.45 г/см<sup>3</sup>. Причиной этого стало нарушение сложения поверхностных горизонтов и общее уплотнение почвы при работах мощной тяжелой техники. Эрозионные процессы впоследствии смыли верхние рыхлые слои почв. Изменение плотности и других параметров почв на разных участках вырубок было отмечено и в первые годы наблюдений [9].

Важную роль в химических и биологических процессах играют два показателя: температура и влажность почвы. Повышенное увлажнение может привести к формированию восстановительных условий в почвах, которые значительно изменяют биологическую активность почв [10,11]. На участках вырубок с высокой антропогенной нагрузкой были зафиксированы высокая температура и низкая влажность по сравнению с контрольными показателями под пологом леса. Это связано с меньшим проективным покрытием растительности на участках с сильным нарушением. Минимальная температура и максимальная влажность были отмечены на контрольных участках леса, который в значительной мере препятствовал инсоляции поверхности почвы.

Реакция почвенной среды сильно варьировала на разных участках вырубок. В контрольных почвах реакция среды была кислой, на нарушенных антропогенным воздействием участках вырубок вследствие перемешивания почв с почвообразующей породой – элювием известняков и эрозионных процессов в верхние слои почв попало много обломочного карбонатного материала из подстилающей породы. Это повысило рН почвы до нейтральных значений. Это, в свою очередь, привело к повышению биогенности и продуктивности почв.

Активность  $\beta$ -фруктофуранозидазы (инвертазы) является важным показателем биологической активности почв, тесно связанным с содержанием органического вещества почвы и ее продуктивностью [6]. Активность инвертазы существенно различалась в почвах разных участков обеих вырубок. Сильно нарушенные участки характеризовались значительным снижением активности фермента. Снижение здесь составляло 84–91% по сравнению с контрольными значениями в лесу. На участке слабого нарушения, наоборот, было зафиксировано значительное повышение активности инвертазы – на 51–73%. Это связано с интенсивным развитием на слабонарушенных участках высокотравной луговой травянистой растительности после сведения леса. В результате поверхность почвы была покрыта толстым слоем ветоши, и содержание гумуса в почвах заметно возросло [9, 12]. Инвертаза тесно коррелирует с содержанием гумуса в почвах и поэтому является важным индикатором ее плодородия [6,13].

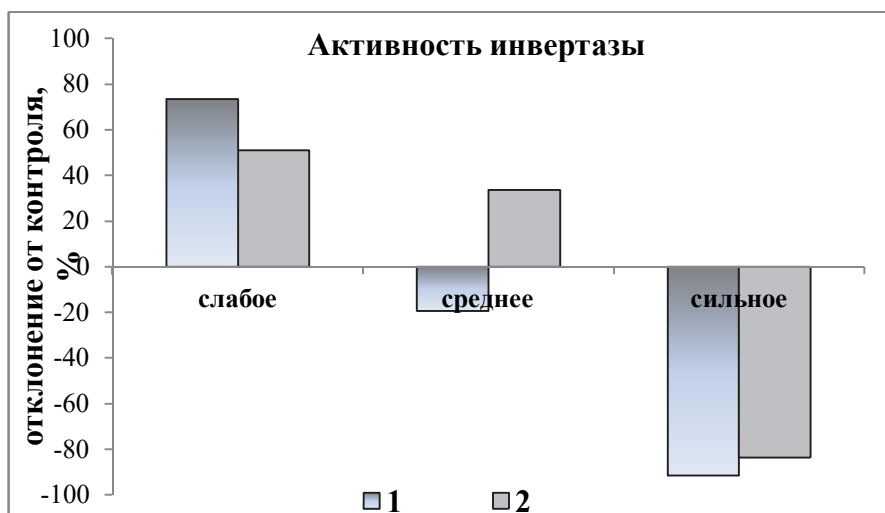


Рис. 1. Активность инвертазы в почвах двух вырубок Адыгеи

**Заключение.** В результате исследований установлено, что почвы разных участков двух вырубок в условиях среднегорий Адыгеи и спустя 8 лет после сведения леса в значительной мере отличаются по экологическим и биологическим параметрам. Увеличивается разнообразие флоры, изменяется гидротермический режим и реакция почвенной среды. Биологическая активность почв повышается на участках со слабым повреждением почвы и значительно снижается на участках с сильными нарушениями.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки РФ (5.5735.2017/8.9) и ведущей научной школы РФ (НШ-3464.2018.11).*

### Литература

1. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во Эверест, 2008. 276 с.
2. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Атлас почв Азово-Черноморского бассейна. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. – 80 с.
3. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Кутровский М.А. Почвообразование на известняках и мергелях. Ростов н/Д: ЗАО «Ростиздат», 2007. 198 с.
4. Кутровский М.А., Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Экологические особенности рендзин Черноморского побережья Кавказа // Изв. вузов. Сев-Кав. регион. 2008. № 6. С. 97-101.
5. Казеев К.Ш., Кутровский М.А., Даденко Е.В., Везденеева Л.С., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Влияние карбонатности пород на биологические свойства горных почв Северо-Западного Кавказа // Почвоведение. 2012. № 3. С. 327-335.
6. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.

7. Ермолаева О.Ю., Хитрина А.К., Казеев К.Ш. Динамика растительного покрова на вырубках на известняковых массивах Западного Кавказа // Актуальные проблемы экологии и сохранения биоразнообразия России и сопредельных стран. Владикавказ: Сев.-Осет. гос. ун-т им. К.Л. Хетагурова. 2015. С. 14–16.

8. Казеев К.Ш., Тер-Мисакянц Т.А., Колесников С.И., Козунь Ю.С. Биодиагностика экологического состояния почв Западного Кавказа после вырубки леса // Известия Самарского научного центра. 2013. Т. 15, № 3(5). С. 1299–1301.

9. Казеев К.Ш., Солдатов В.П., Козунь Ю.С., Гриненко Е.А., Якимова А.С., Полторацкая Т.А., Ермолаева О.А., Муругина В.С., Тер-Мисакянц Т.А. Изменение экологического состояния почв Западного Кавказа после вырубки леса // Экология и биология почв: Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2017. С.188-192.

10. Казеев К.Ш., Стрелкова В.И., Тищенко С.А. Влияние переувлажнения на биоту и свойства почв Юга России. Ростов н/Д: Ростиздат, 2006б. 143 с.

11. Кандашова К.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Изменение эколого-биологических свойств почв Юга России при оглеении (модельный опыт) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2016. № 2 (190). С. 61–67.

12. Солдатов В.П. Динамика изменения содержания гумуса в послелесных почвах западного Кавказа / Экология и природопользование. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета. 2018. Вып. 15. С. 89–93.

13. Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван. Айастан. 1974. 275 с.

## **ECOLOGY PROPERTIES OF THE SOILS OF THE ADYGEA MIDDLE MOUNTAINS AFTER FOREST CUTTING**

V.P. Soldatov, V.D. Prikhodko, A.E. Pimenova, O.Yu. Ermolaeva, K.Sh. Kazeev

Southern Federal University, Rostov-on-Don, kamil\_kazeev@mail.ru

**Summary.** *Eight years after the cutting of the forest, research was conducted on the properties of Rendzic leptosol in the middle mountains of Adygea. Studies have shown changes in the physical and biological properties of post-forest soils, which depend on the degree of damage to soil and vegetation during logging and trawling. In areas of severe disturbance, the ecological state of soils has deteriorated, and in areas of weak damage, biodiversity and biological activity are increasing. The activity of  $\beta$ -fructofuranosidase can serve as a correct biological indicator of the ecological state of post-forest soils.*

**Keywords:** *enzyme activity, biological diagnostics, deforestation, anthropogenic impact.*

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В НЕКОТОРЫХ ПОЧВАХ ОКРЕСТНОСТЕЙ ГОРОДА ТОМСКА

В.З. Спирина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, spirina.pochva@mail.ru

**Аннотация.** *Изучено влияние разных источников загрязнения на содержание тяжелых металлов в почвах окрестностей города Томска. Определяющими факторами содержания и профилевого распределения ТМ являются удаленность источников загрязнения, их состав и свойства почв. Нормирование территории по степени загрязненности радионуклидами проводится, прежде всего, по цезию-137. Содержание в почвах ТМ и радионуклидов свидетельствует об устойчивом радиационном воздействии выбросов предприятий на почвы окрестностей города.*

**Ключевые слова:** *тяжелые металлы, почва, радионуклиды, загрязнение, гумус, гранулометрический состав, емкость поглощения.*

В последние годы возрастающее загрязнение окружающей среды приняло угрожающий характер и стало одной из важнейших экологических проблем современности. Особое место среди многочисленных загрязнителей занимают тяжелые металлы и радионуклиды. Загрязнение тяжелыми металлами и радионуклидами окружающей среды приводит к нарушению обмена веществ в клетках растений, животных и людей. Действия такого рода загрязнения на протяжении длительного времени могут вызвать серьезные сдвиги в существующем в природе биологическом равновесии. В связи с этим, определение содержания тяжелых металлов (ТМ) в почвах в условиях возрастающего техногенного воздействия на окружающую среду является весьма актуальным.

Почва – один из важнейших концентраторов тяжелых металлов. В результате антропогенного загрязнения в почву поступает большое количество ТМ, что отрицательно влияет на ее биологические свойства и снижает плодородие. В почве тяжелые металлы быстро включаются в биоэкологические циклы миграции и становятся постоянными компонентами химического состава почвы. Направление миграции ТМ и ее интенсивность зависят от многих факторов, прежде всего, от химических, физико-химических свойств почв, источников загрязнения в местах расположения потенциально вредных производств.

К источникам загрязнения относятся предприятия химической промышленности и другие объекты, расположенные в окрестностях города Томска. Наиболее экологически опасными из них являются ТЭЦ, объекты Сибирского химического комбината (СХК), транспорт, а также предприятия по добыче и изготовлению строительных материалов. Выбросы этих предприятий влияют на экологию города и окружающих территорий. Содержание тяжелых металлов и радионуклидов в почвенных горизонтах отражает уровень загрязнения атмосферы. Элементы, выбрасываемые в атмосферу через трубы предприятий химической, тяжелой и атомной промышленности, распространяются на десятки километров от источников загрязнения.

Тяжелые металлы (за исключением ртути) в основном поступают в атмосферу в составе аэрозолей, значение которых в химическом загрязнении воздуха крайне велико. На ТЭЦ используется уголь, при сжигании которого в атмосферу вместе с дымом поступают хром, свинец, ртуть, серебро, олово, титан, а также уран, радий, торий и многие другие химические элементы. Через дымовые трубы ТЭЦ с горячим воздухом выносятся в атмосферу различные вещества и оседают на поверхности почвы. Также происходит заметное загрязнение атмосферного воздуха за счет транспорта, и прежде всего автомобильного.

С выбросами автотранспорта в почву и атмосферу попадают марганец, цинк, медь, свинец, кобальт, хром и другие элементы. Объекты СХК, которые относятся к предприятиям ядерного топливного цикла, выбрасывают в атмосферу радионуклиды, такие как цезий-137, радий-236, торий-230, торий-232, уран-234, уран-235 и другие. Тяжелые металлы могут по-

ступать в почву и вместе с осадками сточных вод, в которых отмечаются повышенные концентрации хрома, ртути, брома, цинка, кадмия, тория и урана.

Продолжительность пребывания загрязняющих компонентов в почвах гораздо больше, чем в других объектах биосферы, и загрязнение почв, особенно тяжелыми металлами и радионуклидами, практически вечно. Дальнейшие превращения ТМ и радионуклидов, поступивших из различных источников в почву, зависят от ее свойств, прежде всего, содержания органического вещества, тонкодисперсных глинистых минералов, оксидов и гидроксидов железа, алюминия марганца.

**Объектами исследования** послужили наиболее распространенные и типичные почвы на территории Томского района вблизи от источников загрязнения. Дерново-подзолистая слабодифференцированная почва, сформировавшаяся под сосновым лесом, была вскрыта в 250 м от СХК. Для нее характерно слабое проявление дернового процесса и активное – подзолистого и лессиважа, что обусловило перераспределение илистых частиц по почвенному профилю с накоплением их в иллювиальной части. Близость дерново-подзолистой почвы к объектам СХК позволяет предположить ее загрязнение не только ТМ, но и радионуклидами, присутствующими в выбросах данного предприятия.

Другим объектом исследования явилась светло-серая лесная легкосуглинистая почва, сформированная под осиново-сосновым лесом с наличием редких берез и расположенная в 500 м от ТЭЦ. Среди веществ, содержащихся в выбросах ТЭЦ, присутствуют тяжелые металлы и радионуклиды, они оседают на поверхности почвы и вступают во взаимодействие с ее компонентами.

Третий объект – светло-серая лесная грунтово-глеевая среднесуглинистая почва, развитая под осиновым лесом с редкими соснами вблизи самой загруженной автотрассы Северск-Томск. Почва сформирована под влиянием дернового, подзолистого и глеевого процессов.

**Методы исследования.** Для изучения свойств почв использовались общепринятые в почвоведении методы, тяжелые металлы определялись методом атомной абсорбции [1, 2].

**Обсуждение результатов.** По гранулометрическому составу дерново-подзолистая слабодифференцированная и светло-серая лесная почвы относятся к легкосуглинистым разновидностям с преобладанием песчаных частиц (1-0,05 мм) – от 32 до 91%. Светло-серая грунтово-глееватая является среднесуглинистой почвой, для нее характерно преобладание илистых и крупно-пылеватых фракций. Высокое содержание ила в данной почве (30-49%), обуславливает большие возможности накопления тяжелых металлов и радионуклидов. Илистые частицы определяют сорбционные свойства почвы и ее взаимодействие с загрязняющими веществами.

Хорошим адсорбентом ТМ и радионуклидов является гумус. По его содержанию все исследуемые почвы относятся к малогумусным (2,2-3,1%). По мощности гумусового горизонта ( $A_1+A_1A_2$ ) светло-серая лесная и светло-серая лесная грунтово-глееватая относятся к среднесплодным (21-30 см), а дерново-подзолистая слабодифференцированная к маломощным (16 см) видам почв. Лесная растительность, под которой сформировались исследуемые почвы, не способствует накоплению большого количества гумуса и питательных веществ. Органические остатки содержат мало зольных элементов и азота, кроме того, они дополнительно обеззоливаются при промывании почвы осадками, поэтому образуются кислые подвижные гумусовые вещества.

Емкость катионного обмена обуславливает поглощение и накопление в почве загрязняющих веществ. В исследуемых почвах емкость поглощения небольшая, в горизонте А ее величина составляет 27-32 мг-экв/100 г почвы. Наибольшей емкостью поглощения характеризуется светло-серая лесная грунтово-глееватая почва, имеющая более тяжелый гранулометрический состав. На накопление загрязняющих веществ в почве и на их содержание в растениях влияют обменные основания. Гумусовый горизонт имеет максимальную концентрацию обменных оснований – 22–26 мг-экв/100 г почвы, первое место из которых занимает кальций. В наибольшем количестве этот катион обнаружен в светло-серой грунтово-глееватой почве (18 мг-экв/100 г почвы). Чем выше концентрация кальция в почвенном растворе, тем



более благоприятными будут условия для проявления антагонизма ионов тяжелых металлов и радионуклидов.

Реакция почвенного раствора влияет на растворимость токсических веществ, в том числе тяжелых металлов и радионуклидов. Все исследуемые почвы имеют кислую реакцию среды. В верхних горизонтах величина рН колеблется от 5,3 до 5,5, рН солевой суспензии несколько ниже (4,7-4,9). В почвенном профиле более кислой реакцией раствора отличаются горизонты  $A_1A_2$  и  $A_2$ , где величина рН водной вытяжки составляет 5,2-5,4, солевой – 4,5-4,6. Зная реакцию почв и регулируя ее, можно в значительной степени снизить токсичность накопленных в почве химических загрязняющих веществ.

Особенности содержания, профильное распределение химических элементов, в том числе и тяжелых металлов, почвы наследуют от породы, однако почвообразовательные процессы накладывают на них свой отпечаток в виде специфических проявлений биогенной аккумуляции, физико-химической и механической миграции веществ [3]. Валовое содержание микроэлементов в верхних горизонтах почв, как правило, более высокое, чем в материнских породах, что сопряжено с накоплением гумуса. Некоторые исследователи считают, что благодаря способности гумусовых веществ прочно связывать микроэлементы и поглощать их в большом количестве, в почвах отмечается тесная положительная связь между содержанием гумуса и концентрацией элементов [4, 5]. Изученные ТМ характеризуются различными свойствами, поэтому поведение их в профиле почв неодинаково. Естественное содержание свинца в почвах во многом определяется его содержанием в материнских породах. Однако из-за большого загрязнения окружающей среды свинцом верхние горизонты большинства почв обогащены этим элементом. Загрязнение почв свинцом носит необратимый характер, так как поступление данного элемента существенно превышает его вынос. Дерново-подзолистая и светло-серая лесная почвы характеризуются высоким содержанием свинца, а светло-серая лесная грунтово-глееватая – повышенным. Больше всего свинца содержится в дерново-подзолистой слабодифференцированной почве – 74 мг/кг, в светло-серой лесной – 72,3 мг/кг, а в светло-серой лесной грунтово-глееватой меньше всего – 58,5 мг/кг. Это связано с тем, что образцы первых двух почв были отобраны вблизи объектов СХК и ТЭЦ, в выбросах которых среди ТМ преобладает свинец. Однако содержание его не превышает ПДК.

Максимальное количество никеля содержится в гумусовом горизонте дерново-подзолистой почвы (44,8 мг/кг), несколько меньше (43,3 мг/кг) – в светло-серой лесной грунтово-глееватой почве. Самое низкое количество никеля обнаружено в светло-серой лесной почве (38,5 мг/кг), что обусловлено не только меньшим содержанием гумуса в данной почве, но и невысокой емкостью катионного обмена (26,7 мг-экв/100 г почвы). Следует отметить, что содержание никеля в исследуемых почвах не превышает ПДК и характеризует средний уровень загрязнения, однако его количество превышает фоновые значения.

Наряду с другими тяжелыми металлами в почвах окрестных территорий г. Томска были обнаружены цинк и медь. Максимальные значения этих элементов также характерны для гумусовых горизонтов. Сысо А.И., Ильин В.Б., изучавшие микроэлементы и ТМ в почвах и растениях Новосибирской области, подчеркивали, что, благодаря способности гумусовых веществ прочно связывать микроэлементы и поглощать их в большом количестве, в почвах отмечается тесная положительная связь между содержанием гумуса и концентрацией микроэлементов [4]. Цинк в почвах более мобилен, чем медь, и при повышенной влажности легко мигрирует по профилю [5]. Повышенное содержание гумуса и утяжеление гранулометрического состава почв снижает миграционную способность цинка и способствует его накоплению. Наибольшее количество цинка было выявлено в светло-серой лесной грунтово-глееватой среднесуглинистой почве (96,5 мг/кг), в светло-серой легкосуглинистой и дерново-подзолистой легкосуглинистой почвах – 84,5 и 83,5 мг/кг соответственно. Медь, по сравнению с цинком, ведет себя несколько иначе. Поступая в почву, она связывается главным образом с гумусом, и в меньшей степени с илистыми частицами. Поэтому больше всего меди было отмечено в дерново-подзолистой почве (143 мг/кг), отличающейся максимальным содержанием гумуса. В светло-серых лесных почвах количество этого элемента значительно

меньше и составляет 104–107 мг/кг. Почвы характеризуются повышенным содержанием цинка и очень высоким накоплением меди (но в пределах ПДК). Следует учитывать, что медь, накапливаясь в почве, влияет на ее биологическую активность и может становиться доступной для растений в самых разных условиях.

Содержание кобальта в почвах невысокое (9–11 мг/кг), гораздо ниже фонового значения (15,6 мг/кг). Больше количество (11 мг/кг) обнаружено в светло-серой лесной грунтово-глееватой почве, которая характеризуется максимальным содержанием илестых частиц (29,6%) и более высокой емкостью катионного обмена (32,5 мг-экв/100 г почвы). Самая низкая величина кобальта характерна для светло-серой лесной почвы (9 мг/кг), что связано не только с ее удаленностью от предприятий СХК, но и с меньшим содержанием гумуса (2,2%) и невысокой емкостью поглощения (26,7 мг-экв/100 г почвы).

Максимальное содержание хрома отмечено в светло-серой лесной грунтово-глееватой почве, что обусловлено не только большей гумусностью, но и более кислой реакцией среды (рН 5,2), чем в других почвах. Хром полностью выпадает в осадок при  $\text{pH} < 5,5$  и накапливается в почве. Минимальная величина хрома отмечается в светло-серой лесной почве (66 мг/кг).

В исследованных почвах проводилась оценка уровня накопления естественных (торий, радий, калий) и техногенных (цезий) радионуклидов. Нормирование территории по степени загрязненности радионуклидами ведется, прежде всего, по цезию-137. Этот изотоп вызывает особую тревогу при охране окружающей среды, поскольку он является побочным продуктом атомной энергетики. Цезий очень токсичный элемент. Анализ распределения по почвенному профилю радиоцезия выявил, что основное его количество сосредоточено в слое 0-10 см. Больше всего цезия содержится в светло-серой лесной почве (37,5 Бк/кг), и меньше всего в светло-серой лесной грунтово-глееватой почве (23,3 Бк/кг). Вниз по почвенному профилю количество цезия резко снижается и в слое 10-20 см его величина колеблется от 3,3 до 11,1 Бк/кг. Характер такого распределения связан с тем, что поступивший из атмосферы цезий-137 сразу адсорбируется органическим веществом почвы, а также поглощается твердой фазой, поэтому до 80-90% этого изотопа закрепляется в верхних 10 см. Следует отметить небольшое увеличение цезия-137 на глубине 30-40 см в светло-серых лесных почвах и на глубине 40-50 см в дерново-подзолистой, что связано с наличием железистых пленок, в которых концентрируются радионуклиды. В данных почвах содержание цезия превышает фоновые значения в 1,5-2,5 раза.

Из естественных радионуклидов в почвах зарегистрирован радий-226. Это промежуточный продукт рядов распада урана и тория. Радий наиболее долгоживущий и относительно распространенный в биосфере радионуклид. Наименьшее количество его было обнаружено в верхнем слое светло-серой лесной почвы (30,5 Бк/кг), что, по-видимому, связано с незначительным содержанием физической глины (23,24%) и низкой емкостью катионного обмена. В светло-серой лесной грунтово-глееватой почве содержание радия в верхнем слое выше – 34,7 Бк/кг, поскольку в этой почве отмечено больше физической глины (38%) и выше емкость катионного обмена. Максимальное содержание радия было выявлено в дерново-подзолистой почве – 53,3 Бк/кг, что связано не только с большим накоплением гумуса, но и с тем, что эта почва испытывает действие объектов СХК, в выбросах которого преобладают радионуклиды радия.

В почвах были обнаружены калий-40 и торий-232. Последний является дочерним изотопом в ряду распада урана. Содержание тория в исследуемых почвах колеблется от 13,1 до 32,4 Бк/кг. Обращает на себя внимание небольшое содержание тория в слое 0-10 см дерново-подзолистой почвы. Это объясняется большой удаленностью почвы от ТЭЦ. Известно, что основное количество тория поступает в почву при сжигании угля, поэтому максимальная величина данного элемента характерна для светло-серой лесной почвы, расположенной вблизи ТЭЦ, в выбросах которого преобладают радий и торий.

В исследуемых почвах присутствует радиоактивный калий. Это изотоп «обычного» калия, обладающий радиоактивными свойствами. В данных почвах содержание калия-40 колеблется от 356 до 492 Бк/кг и аккумулируется в иллювиальных горизонтах, где происходит накопление илестых частиц, способных адсорбировать радиоактивный калий.

**Заключение.** Исследованные почвы вблизи ТЭЦ, СХК и автотрассы характеризуются разным содержанием ТМ и радионуклидов, что обусловлено не только неодинаковым составом выбросов и удаленностью от источников загрязнения, но и различиями в свойствах почв. В распределении ТМ по профилям почв отмечается четкая закономерность – максимальные величины их содержания приурочены к гумусовым и иллювиальным горизонтам. Установленные уровни содержания в почвах радия, тория, калия- 40 и цезия-137 превышают таковые в почвах соседних областей, что свидетельствует об устойчивом радиационном воздействии выбросов предприятий на почвы окрестностей города Томска.

### Литература

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
2. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы и методы его изучения. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 245 с.
3. Кулижский С.П., Спирина В.З., Саранчина Е.В. Содержание кислоторастворимых форм меди и кобальта в почвах Приенисейской части Батеневского кряжа // Вестник КрасГАУ. 2010. Выпуск 3. С. 24-29.
4. Сысо А.И., Ильин В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 226 с.
5. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.

### THE CONTENT OF HEAVY METALS IN SOME SOILS OF THE ENVIRONS OF THE CITY OF TOMSK

V.Z. Spirina

National Research Tomsk State University, Tomsk, spirina.pochva@mail.ru

**Summary.** *The influence of different sources of pollution on the content of heavy metals in the soils of the surroundings of the city of Tomsk has been studied. The determining factors of the content and profile distribution of HM are the remoteness of the pollution sources, their composition and soil properties. The rationing of the territory according to the degree of contamination with radionuclides is carried out, first of all, for cesium-137. The content of HM and radionuclides in soils indicates a stable radiation effect of emissions of enterprises on the soils of the vicinity of the city.*

**Keywords:** *heavy metals, soil, radionuclides, pollution, humus, granulometric composition, absorption capacity.*

## ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ АЗЕРБАЙДЖАНА

Н.А. Султанова<sup>1</sup>, М.М. Юсифова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт Почвоведения и Агрохимии НАНА, Азербайджан, Баку, nigarsultanova@mail.ru

<sup>2</sup> Бакинский Государственный Университет, Азербайджан, Баку, mehluqe\_yusifli@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются эколого-географические и природно-хозяйственные особенности почвообразования северо-восточной части Азербайджана. На основании имеющихся литературных данных и собственных исследований характеризуются генетические особенности почв и пути их рационального использования.

**Ключевые слова:** почвообразование, горно-луговые почвы, экологическая оценка, Куба-Хачмазская зона.

В рассматриваемый регион входят Кубинский, Кусарский, Шабранский, Хачмазский районы, расположенные на северо-восточном склоне Главного Кавказского хребта и на Прикаспийской низменности. В горной части региона абсолютные высоты повышаются – Базар Дюзю (4485 м), Шахдаг (4250 м), Туфандаг (4206 м). Их вершины покрыты вечными снегами и ледниками. Ближе к Каспийскому морю предгорья переходят в каспийскую наклонную равнину и далее в Прикаспийскую низменную полосу. Регион в целом, в отличие от других, открыт для холодных северных и северо-восточных ветров.

Горно-луговая зона здесь приурочена к высотам от 2200 до 3200 м над уровнем моря, местами и выше. Вся она носит характерные черты высокогорного ландшафта.

Для высокогорного пояса этого региона развиты, в основном, сланцево-песчаниковая толща и плотные юрско-меловые известняки. Интенсивное развитие эрозионных процессов и образование значительной массы грубообломочного материала, возникшего в результате физического выветривания, способствуют развитию гравитационных процессов.

Для высокогорного пояса характерны хорошо сохранившиеся местами ледниковые формы рельефа [1]. Ландшафты высокогорной зоны представлены альпийскими и субальпийскими лугами, а на хорошо дренированных, относительно выровненных платообразных участках – луговыми степями. В альпийских лугах преобладают злаки, в том числе плотно-дерновые, и многие виды разнотравья. В скально-осыпном поясе характерны мхи, лишайники, манжетка и заросли рододендрона. Общая биомасса в альпийских лугах в среднем не превышает 80–105 ц/га. Для субальпийских лугов характерно развитие злаковых и злаково-разнотравных группировок.

Климат высокогорной зоны крайне суров. Холодный период с морозными днями продолжителен, вегетационный период короткий. Относительно устойчивые отрицательные температуры воздуха наблюдаются в декабре-январе (минус 5,1 – 8,9). Среднегодовое количество осадков колеблется в пределах 1200–1400 мм. Испаряемость низкая. Коэффициент увлажнения (по Иванову) для значительной части территории больше 1. Сумма активных температур (>10 °С) колеблется в пределах 1284–1782 °С. Почвообразование большую часть года протекает при явном недостатке тепла и максимальном количестве осадков в теплый период, что в условиях низкой испаряемости обуславливает промывной режим почв [2].

В сложившихся геоэкологических условиях создаются предпосылки для формирования ненасыщенных почв. При этом большое количество органических кислот обуславливает кислую реакцию почвенной среды. Почвообразующими породами для типа горно-луговых почв служат сланцы, известняки, мергели, известковые песчаники, конгломераты, а также элювиальные продукты выветривания коренных пород.

В высокогорной зоне Большого Кавказа распространены горно-луговые почвы. Различия эколого-географических условий позволяют расчленить тип горно-луговых почв на 3 подтипа: горно-луговые дерново-торфянистые, горно-луговые дерновые, горно-луговые черноземовидные. Территориально распространены в приводораздельной полосе высокогорной части Большого Кавказа, занимая северные склоны Базардюзю, Туфана, Шахдага и др. вершин.

Наиболее характерные морфологические признаки этих почв: наличие с поверхности плотной дернины, часто сочетающиеся со слабой оторфованностью, малая мощность профи-

ля (0-50 см), высокая щебненность всего профиля, причем с глубиной увеличивается. Карбонатные образования совершенно отсутствуют.

Характерной особенностью горно-луговых дерново-торфянистых почв является их обогащенность органическим веществом. Содержание гумуса в них составляет  $16,6 \pm 2,7\%$  и с глубиной резко падает. В составе гумуса преобладают более подвижные формы гумусовых соединений, особенно фульвокислоты. Отношение Сг/Сф меньше 1. Значительная часть подвижных органических кислот образует железо-алюмо-гумусовые соединения. Реакция почвенного раствора кислая или слабокислая (рН 5,5-5,8).

Особенностью морфологического строения горно-луговых дерновых почв является короткий профиль, мощность мелкоземистого слоя в большинстве случаев не превышает 60–70 см.

Для типичных горно-луговых дерновых почв характерна глубокая выщелоченность от карбонатов. За редким исключением, в условиях более сухого режима их формирования отмечены карбонатные налеты только по нижней поверхности обломков пород.

Горно-луговые дерновые почвы подразделяются на роды: выщелоченные, слабонасыщенные, глееватые, неполноразвитые [3].

Горно-луговые дерновые почвы в настоящее время целиком заняты летними пастбищами и сенокосами входят в основной земельный фонд кормовых угодий республики.

Горно-луговые черноземовидные почвы. В зональном отношении представляют собой крайнее звено вертикального ряда почв субальпийского пояса. Нижняя высотная граница колеблется в широких пределах в зависимости от орогеоморфологического строения и климатических условий отдельных частей высокогорья. Так, на интересующей нас зоне она проходит на высоте 1800-2000 м над уровнем моря и эти почвы входят в контакт с лесо-луговыми почвами.

Горно-черноземовидные почвы формируются в условиях промывного режима и в остаточной коре выветривания известняков, известняковых песчаников и на карбонатных сланцах.

Некоторая смягченность климата в районе распространения горно-луговых черноземовидных почв обуславливает более благоприятное течение процесса гумификации. Коэффициент интенсивности биологического круговорота здесь меньше единицы 0,6–0,8, т.е. изменяется почти в тех же пределах, что в горно-луговых дерновых почвах, но несколько уступает значениям в горно-луговых дерново-торфянистых [4].

Горные лесо-луговые почвы распространены по верхней границе леса на высоте 1800 (2000)–2100 (2200) м в условиях расчлененного рельефа. По всем элементам ландшафта район развития описываемых почв носит явные признаки переходной лесо-луговой полосы и представлен парковыми лесами с часто чередующимися широкими полянами, покрытыми высокотравьем. Для лесо-луговых почв характерны относительно большая мощность мелкоземистого профиля и отсутствие на поверхности дернины.

Растительность здесь представлена преимущественно низкорослыми деревьями, кустарниками или светлыми парковыми насаждениями, образованными нередко березой, кленом, изолированно расположенными дубравами, промежутки между которыми заняты злаковым разнотравьем [5].

Значительная часть площади земель находится в фонде государственного подчинения и имеет почвозащитное, водоохранное значение, выборочно используется под сенокосы и пастбища.

Горные луговые степные почвы как самостоятельный тип относятся к числу характерных почв субальпийских луговых степей, приурочены к высотам 1900–2000 м. Занимают более сухие районы высокогорий с высокой естественной дренированностью территории, повышенным поверхностным и внутренним стоком, связанным с большими уклонами и хорошей водопроницаемостью коренных пород. Развиты в восточной части Большого Кавказа, формируя ареалы в крайнем ряду вертикального пояса высокогорий Азербайджана.

Горно-луговые степные почвы входят в основной фонд земель кормовых угодий Азербайджана и целиком используются как сенокосные угодья. Только небольшая их часть освоена под зерновые культуры и картофель. По своим агрономическим достоинствам относятся к категории почв высокого бонитета, запасы гумуса в слое 0–100 см достигают до 500 т/га, а азота – до 23 т/га [6].

В предгорной полосе средняя многолетняя температура воздуха составляет 10°C. Жаркие месяцы – июнь, июль, август со средней температурой 20°C. Количество осадков от 250 до 400 мм, с подъемом высоты количество осадков увеличивается. Выше 900 м над уровнем моря они уменьшаются, а на высоте 2000–2300 м их можно приравнять к осадкам прибрежной полосы. Летом наблюдаются суховеи.

Гидрографическая сеть зоны хорошо развита, имеется около 60 горных рек. Самые крупные – Самур, Кусарчай, Карачай, Кудиалчай, Вельвеличай, Шабранчай, Гильгильчай, Куручай, Атачай, которые текут с юго-запада на северо-восток и впадают в Каспийское море.

Для этих рек характерно летнее половодье. Это объясняется высоким расположением бассейнов этих рек интенсивным таянием снега в их верховьях. В пониженной части района реки имеют дождевое питание. Поскольку южная часть зоны района бедна водой, а природные условия благоприятны для земледелия, то для обеспечения этой зоны поливной водой возникла необходимость перераспределения воды Самур-Апшеронским каналом. Этот канал в течение всего вегетационного периода обеспечивает водой также и Апшеронский район. Большее значение имеют и подземные воды. Некоторые реки, выйдя из горных ущелий, попадают в зону конусов выноса и теряют значительную часть своих вод. Эти подземные воды текут к Каспию, но на пути подпираются морскими глинистыми отложениями и выбиваются на поверхность многочисленными родниками.

Куба-Хачмасская зона расположена на одноименной равнине и частично на прибрежных районах Апшеронского полуострова и характеризуется следующими зонами:

1. Субтропическая предгорно-кустарниково-сухостепная зона.
2. Горно-сухо-лесная зона
3. Горная субтропическая кустарниковая сухостепная зона.

Климат здесь умеренно-теплый, субтропический, полупустынный и сухостепной. При годовом количестве осадков 300–350 мм величина испаряемости 730–800 мм. Лето жаркое (30–35°C), возникают суховеи, зима, в основном, теплая, короткая. Средняя годовая температура воздуха составляет 11,8–12,5°C, средняя январская температура 1,9–2,5°C, средняя июльская – 22,4–23,5°C [3, 6].

Сравнительно-геофизический анализ свойств почвы в сочетании со стационарными исследованиями режимных процессов были приурочены к почвам – лугово-лесной, низинно-лесной зоны (Кусарчайская зональная станция Института Овощеводства МСХА и Шабранский участок).

Кусарская наклонная равнина относится к первому типу, т.е. к субтропической предгорно-кустарниково-сухостепной зоне.

Почвы Куба-Хачмазской природной зоны, подчиняясь вертикальной зональности, изменяются от побережья к горным районам. На побережье идет полоса песчаных почв с северо-запада на юго-восток выше прибрежной полосы развиваются луговые и лугово-сероземные почвы с разновидностями солончаковых и солонцеватых. Между Хачмазом и Кубой массив лугово-коричневых почв. Выше идут горно-коричневые почвы, а далее горно-лесные бурые, горно-лугово-степные, горно-дерново-карбонатные. На Кусарской предгорной равнине встречаются интразональные луговые почвы. Этот тип почвообразования обусловлен геологическим режимом, связанным с грунтовым и поверхностным увлажнением. Почвообразующие породы – аллювиальные и делювиально-пролювиальные наносы.

В сельском хозяйстве этих районов ведущая роль принадлежит садоводству, виноградарству, бахчеводству и овощеводству. Особенно славятся плодовые сады Кубинского района. Из зерновых сеют преимущественно озимые хлеба, из технических культур выращивают табак, подсолнечник [7].

Экологическая шкала почв характеризует условия их образования и пригодность почвенного покрова для тех или иных целей.

Основой для построения такой шкалы служат данные по геологии, рельефу, почвообразующим породам, гидрологическим условиям, растительному покрову, климатическим условиям и др.

Анализ почвенно-экологических условий Куба-Хачмазской зоны показан в таблице.

### Оценка экологических условий почв Куба-Хачмазской зоны

Почвы	Высотам	Экологические параметры почв					Гумус,%	рН	Балл
		Осадки мм	Сумма температур >10 °С	БКП	Md (индекс увлажнен.)				
Горно-луговые	>2000	1200 – 1400	1000–2000	1,60	0,60		4,3–6,3	78	
Горно-лесные Бурые	800 1200	800 – 900	2500–3000	1,50–1,90	0,45–0,60	6,4	5,1–7,2	76	
Горно-лесные Коричневые	200-1200	550 – 700	3000–4200	1,80–2,30	0,25–0,45	3,0	7,0–7,5	78	
Горные черно-земы	500-1600	500-1600	3800–4500	2,10–2,70	0,28–0,30	3,9	7,0–7,2	70	
Серо-коричневые	200-550	400-500	3800–4400	1,75–2,20	0,20–0,25	2,8	7,5–8,2	71	
Сероземные	До100	200	4600	0,8	0,10–0,15	1,0	8,7–9,0	22	
Серо-бурые	До100	200	4600	0,8	0,10–0,15	1,0	8,7–9,0	22	
Луговые	<100	350	4400	0,8–2,0	0,10–0,15	1,7	7,4–8,6	40	
Солончаки	<80	250	4600	0,8	0,10–0,15	–	8,6	14	
Солонцы	<80	250	4600	0,8	0,10–0,15	–	8,6	14	

**Выводы.** Экологические факторы среды дают сравнительную оценку условий, основанную на объективных примерах. Пользуясь шкалами, можно унифицировать почвенные понятия экологических условий, т.е их применение исключает субъективность. Кроме того, шкалы составлены так, что даже молодой специалист почвовед-эколог на основе шкал может дать правильную оценку условий отдельных ландшафтных комплексов. Экологическая оценка условий по шкалам помогает решать многие вопросы почвенных исследований. Изучение экологии почв облегчает выявление экологических форм отдельных типов. Экологической шкалой можно пользоваться как в научных, так и в практических целях.

### Литература

1. Микаилов Н.К. Эколого-географические особенности образования засоленных почв прибрежной зоны и вопросы их мелиорации. Материалы «Экологический мониторинг Большого Баку и Сумгаита». Баку, 1999. С. 102–105.
2. Салаев М.Э. Диагностика и классификация почв Азербайджана. Баку: Элм, 1991. 238 с.
3. Алиев Г.А Коричневые лесные почвы восточной части Большого Кавказа // Почвоведение. 1961. № 5. С. 91–102.
4. Абдуев М.Р. Ускоренная мелиорация глинистых солончаков Азербайджана. Баку: Элм, 1977. 212 с.
5. Гаджиев В.Д. Высокогорная растительность Большого Кавказа (в пределах Азербайджана) и ее хозяйственное значение. Баку: Элм, 1970. 258 с.
6. Волобуев В.Р. Экология почв. Баку, 1963, 259 с.
7. Мамедов Г.Ш. Земельная реформа в Азербайджане: правовые и научно-экологические вопросы. Баку: Элм, 2000. 371 с.

### THE ECOLOGICAL-GEOGRAPHICAL FACTORS OF SOIL FORMATION OF THE NORTH-EASTERN PART OF AZERBAIJAN

N.A. Sultanova<sup>1</sup>, M.M. Yusifova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Soil Science and Agrochemistry of NASA, Azerbaijan, Baku, nigarsultanova@mail.ru

<sup>2</sup> Baku State University, Azerbaijan, Baku, mehluqe\_yusifli@mail.ru

**Summary.** In the article ecology-geographic and natural-economic features of soil formation in the north-eastern part of Azerbaijan are considered. Based on the available literature data and our own researches, genetic features of soils and ways of their rational use are characterized.

**Keywords:** soil formation, mountain meadow soils, ecological evaluation, Guba-Khachmaz zone.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ ПОЧВ ТИХООКЕАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ

Я.О. Тимофеева

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, timofeeva@biosoil.ru

**Аннотация.** *Изучено содержание и распределение тяжелых металлов в разнообразных размерных фракциях железо-марганцевых конкреций бурых лесных почв. Уровень накопления тяжелых металлов, морфологические особенности, химический и минералогический состав конкреций различного размера существенно отличается. Установлено увеличение коэффициента накопления тяжелых металлов по мере роста конкреций.*

**Ключевые слова:** *железо-марганцевые конкреции, тяжелые металлы, бурые лесные почвы.*

Специфика почв прибрежно-морской зоны Тихоокеанского побережья определяется особенностями геохимического фона территории и влиянием муссонного климата. Богатый железосодержащими соединениями минеральный субстрат, контрастная смена периодов длительного увлажнения и иссушения почвенного покрова, низкая водопроницаемость мелкоземных плотных пород и большинства почв приводит к интенсивному формированию почвенных железо-марганцевых конкреций (далее ЖМК). Конкреции представляют собой самостоятельные природные тела с определенным внутренним строением, составом и свойствами. ЖМК являются накопителями тяжелых металлов в почвах [1, 2, 3]. Реакционноактивным веществом конкреций являются различные соединения Fe и Mn. Результаты многочисленных исследований указывают на формирование специфической взаимосвязи между тяжелыми металлами и основными компонентами ЖМК. Основываясь на этом, тяжелые металлы в конкрециях разделены на элементы марганцевой (Co, Ni, Zn, Cd) и железистой (Cr, Cu, As) групп [1, 2, 3]. Учитывая высокую аккумуляционную способность в отношении ряда элементов, конкреции можно рассматривать как одну из субстанций очищающих почву. Накопление элементов конкрециями также относится к числу важнейших процессов, контролирующих поступление микроэлементов в систему малого биологического круговорота. Однако, большинство исследований проводится на средних образцах ЖМК, которые не отражают специфику накопления тяжелых металлов в конкрециях разного размера. Целью работы является изучение роли железо-марганцевых конкреций разного размера в процессах аккумуляции тяжелых металлов в почвах переходной зоны от континента к океану.

Опытные площадки были заложены на участках различного типа природопользования и в различной степени подверженных техногенной нагрузке в зоне распространения бурых лесных почв. Отбор материала проводился по общепринятым схемам ландшафтно-геохимических и почвенных исследований. ЖМК выделяли из почвы методом мокрого просеивания через мелкоячеистые (0,5 мм) капроновые сита. Дальнейшая очистка конкреций проводилась электромагнитным сепаратором. Фракционирование конкреций вели на ситах, конкреционный материал разделили на фракции: 1–2; 2–3; 3–5 мм. Содержание тяжелых металлов определяли методом атомной абсорбции (AA-7000, Shimadzu) с предварительным разложением проб в смеси кислот (HF, HNO<sub>3</sub>) [4]. Минералогический состав конкреций определяли методом рентгеновской дифрактометрии (Rigaku MiniFlexII X-ray).

В бурых лесных почвах формируются округлые и эллипсоидные гладкие конкреции. ЖМК имеют внешнюю и внутреннюю зоны, которые легко идентифицируются по цвету. Цвет различных зон конкреций определяется содержанием Fe и Mn, более темные зоны содержат больше Mn [5]. В конкрециях всех размерных фракций обнаружены обогащенные углеродом зоны [6]. Количественное распределение ЖМК по почвенному профилю обнаруживает тенденцию к наибольшему содержанию в средней части почвенного профиля (до 90 гр на 1 кг почвы) и резкому снижению в нижней (до 13 гр на 1 кг почвы).

В ЖМК обнаружен весь набор исследованных элементов. Содержание тяжелых металлов в конкрециях, по сравнению с вмещающей почвенной массой, резко возрастает. В таблице приведены диапазоны концентрации элементов для 5 почвенных разрезов.



**Диапазон концентрации тяжелых металлов в железо-марганцевых конкрециях и вмещающих горизонтах бурых лесных почв (мг/кг)**

Элемент		Кларк в почвах	A1 0–10 см	A1B 10–20 см	B1 20–40 см	B2 40–90 см
Mn	почва	1510	507–1730	1106–1908	798–1603	1141–1308,5
	ЖМК		5231–30080	12143–68501	6207–61105	3014–1727
Zn	почва	70	26–41	34–62	31–55	23–69
	ЖМК		8–15	16–49	18–58	18–24
Ni	почва	46	21–42	34–48	39–51	24–44
	ЖМК		73–166	118–192	129–291	93–140
Co	почва	22	15–26	13–32	17–28	16–22
	ЖМК		144–286	169–368	122–491	97–174
Pb	почва	32	9–56	10–72	12–44	8–21
	ЖМК		49–338	93–381	74–272	37–200
Cu	почва	20	18–79	24–61	16–72	14–57
	ЖМК		103–174	140–272	68–191	39–96

Конкреции содержат в 10–40 раз больше Mn, в 5–30 раз больше Co, в 3–17 раз больше Ni, Cu, Pb. Исключение составляет Zn, уровень его нахождения в конкрециях, как правило, ниже, в некоторых случаях равен таковому в почве. Конкреции средней части профиля, отличаются наиболее высоким содержанием и интенсивным накоплением исследуемых элементов. В нижней части почвенного профиля уровень накопления микроэлементов в конкрециях заметно ослабевает.

Уровень накопления тяжелых металлов, морфологические особенности, химический и минералогический состав конкреций различного размера существенно отличается. Однородные по составу конкреции размера 1–2 мм представляют собой зоны цементации вмещающей почвенной массы и соединений Fe и Mn. Минеральные фазы, обнаруженные в конкрециях, представлены зёрнами первичных почвенных минералов, которые наследуются по цепи: коренные горные породы – почвообразующие породы – почвы – конкреции. Гематит и магнетит, обнаруженные в ЖМК размера 1–2 мм могут быть как унаследованными, так и образованными внутри конкреций. Образование гематита в конкрециях происходит путем кристаллизации гидроксидов Fe через термодинамически нестабильные фазы, в почвах гумидных регионов это чаще биогенные гидроксиды такие как ферригидрит [7]. Высокодисперсные частицы магнетита в почвах образуются при неорганическом осаждении Fe<sup>2+</sup>, которое восстанавливается железоредуцирующей микрофлорой [7]. В мелких конкрециях Co, Cu, Pb, Cd, Zn связаны с аморфными или слабо окристаллизованными соединениями оксидов и гидроксидов Fe and Mn. Высокие положительные коэффициенты корреляции между Fe–Zn, Fe–Pb указывают на связь элементов в конкрециях с единственной химической фазой-носителем (рис. 1).

По результатам исследований проведенных ранее установлено, что в конкрециях размера 1–2 мм тяжелые металлы входят в состав подвижных соединений и вероятно закрепляются на внешнесферных поверхностных комплексах, образованных непрочными связями [8]. Содержание Ni в мелких конкрециях не обнаруживает сходства с Mn фазами. Это отличается от общих закономерностей, установленных для ЖМК, когда между содержанием Mn и Ni прослеживается прямолинейная зависимость [9, 10].

Увеличение размера ЖМК за счёт повышения содержания основных конкрециеобразующих элементов приводит к резкому увеличению накопительной способности конкреций. В ЖМК размера 2–3 мм снижается доля унаследованных почвенных компонентов. Внутриконкреционные процессы трансформации Mn и Fe способствуют образованию двух полярных форм минералов: якобсита и ивакиита. Процессы изоморфного замещения внутри таких минеральных фаз ведут к прочной фиксации катионов тяжелых металлов почвенными конкрециями. В составе ЖМК размера 2–3 мм, определяющую роль в накоплении Co, Cd, Ni выполняет Mn. Подобный характер ассоциации между Mn и тяжелыми металлами был отме-

чен для конкреций, формирующихся в рендзинах Бургундии (Франция), в бурой почве бассейна р. Миссисипи (USA), в альфосолях Китая (China) [9, 10, 11]. Свинец в конкрециях размера 2-3 мм накапливается как Mn-фазами так и Fe-фазами. Несмотря на то, что основные минералообразователи конкреций являются важными сорбентами Cu и Zn, роль Fe и Mn в накоплении этих тяжелых металлов конкрециями размером 2–3 мм вторична. Исследованиями А. Мансеау и Ю. Водяницкого показано, что в конкрециях Zn входит в состав филлосиликатов, равномерно рассеянных по телу конкреций [9, 12]. Накопление Cu в конкрециях может идти за счёт потребления этого элемента микрофлорой, участвующей в процессе образования конкреций. Вторым источником Cu в ЖМК могут быть органические соединения, содержащие Cu и поступающие в конкреции с частицами вмещающей почвы. Среди конкреций различного размера, фракция 2–3 мм характеризуется самым высоким содержанием Fe, но участие этого элемента в накоплении тяжелых металлов выражено слабее по сравнению с Mn.

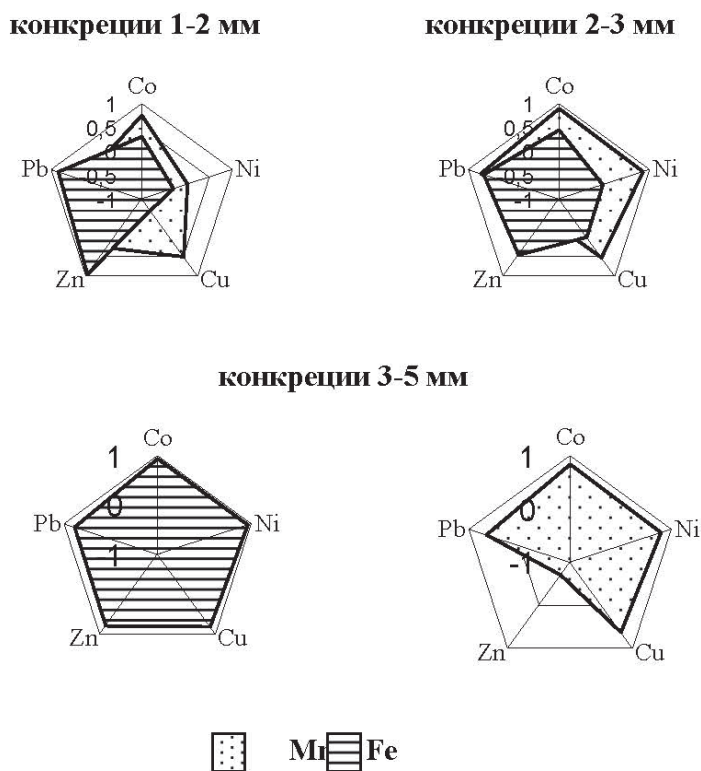


Рис. 1. Коэффициенты корреляции между содержанием тяжелых металлов и основных конкрециеобразующих компонентов

Содержание всех исследованных элементов в конкрециях размера 3-5 мм резко увеличивается. Накопительная способность крупных фракций конкреций в отношении тяжелых металлов (за исключением Cd) в большей степени определяется Fe-соединениями. Эти данные свидетельствуют об идущем в настоящее время оксидогенезе Fe в конкрециях и нахождении элемента в составе соединений обладающих высокой сорбционной емкостью. Особенностью крупных ЖМК является наличие собственных марганцевых минералов, сосредоточенных во внутренней части конкреций. Внутреннее марганцевое ядро имеет кристаллическую структуру и служит основой для окисления почвенного Fe с последующим синтезом гидроксидов [6]. Фактически в конкрециях 3–5 мм Fe, находящееся во внешней зоне, является первичным накопителем тяжелых металлов и резервуаром для их дальнейшего поступления во внутреннюю часть. Переход тяжелых металлов между внешней и внутренней зонами может осуществляться посредством формирования тонких пленок раствора. Насыщенные химическими компонентами пленки питают кристаллы, формирующиеся под внешней поверхностью и, создают оболочку для растущего минерала внутри конкреций. Во внутренней части конкреций тяжелые металлы закрепляются преимущественно Mn-соединениями. Цинк в конкреци-

ях размера 3-5 мм накапливается исключительно Fe-соединениями ( $r_{Fe-Zn} = 0,8$ ;  $r_{Mn-Zn} = -0,7$ ) и вероятно входит в состав слабо окристаллизованных Zn-содержащих Fe фаз.

ЖМК активно взаимодействуют с почвенными компонентами и, накапливая различные тяжелые металлы, образуют в почвенном профиле микрзоны с их повышенной концентрацией. Внутрипочвенная трансформация тяжелых металлов под воздействием конкреций представляет собой макропроцесс, состоящий из комплекса биогеохимических процессов создания новообразованного конкреционного вещества. В целом, явление аккумуляции тяжелых металлов конкрециями можно рассматривать как природный механизм поддержания оптимального элементного баланса почвенной системы. В почвах прибрежно-морской зоны эффект накопления тяжелых металлов конкрециями имеет определяющее значение при распределении элементов в почвенной среде, поскольку конкреции являются весьма эффективными естественными «ловушками» на пути миграции металлов.

### Литература

1. Cornu, S., V. Deschatrettes, S. Salvador-Blanes, B. Clozul, M. Hardy, S. Branchut, and L. Le Forestier, 2005. Trace element accumulation in Mn-Fe-oxide nodules of a planasolic horizon. *Geoderma* 125:11–24.
2. Gasparatos, D. 2013. Sequestration of heavy metals from soil with Fe-Mn concretions and nodules. *Environ. Chem. Lett.* 11:1-9.
3. Latrille, C., F. Elass, F. van Oort, and L. Denaix. 2001. Physical speciation of trace metals in Fe–Mn concretions from a rendzic lithosol developed on Sinemurian limestones (France). *Geoderma* 100:127–146.
4. Sawhney, B.L., and D.E. Stilwell. 1994. Dissolution and elemental analysis of minerals, soils and environmental samples. p. 49–82. *In* J.E. Amonette and L.W. Zelazny (ed.) *Quantitative Methods in Soil Mineralogy*. Misc. Publ., SSSA, Madison, WI.
5. Jien, Sh.-H., Z.-Ye. Hseu, and Z.-S. Chen. 2010. Hydropedological Implications of Ferromanganiferous Nodules in Rice-Growing Plinthitic Ultisols under Different Moisture Regimes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74:880–891.
6. Timofeeva Y.O., Karabtsov A.A., Semal' V.A., Burdukovskii M.L. and Bondarchuk N.V. Iron-manganese nodules in Udepts: the dependence of the accumulation of the trace elements on nodule size. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 78: 767-778.
7. Водяницкий Ю.Н. Соединения железа и их роль в охране почв. М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2010. 282 с.
8. Тимофеева Я.О. Накопление и фракционирование микроэлементов в почвенных железомарганцевых конкрециях различного размера // *Геохимия*. 2008. №3. С. 293-301.
9. Manceau, A., N. Tamura, R. Celestre, A. Macdowell, N. Geoffery, G. Sposito, and H.A. Padmore. 2003. Molecular-scale speciation of Zn and Ni in soil ferromanganese nodules from loess soils of the Mississippi Basin. *Environ. Sci. Technol.* 37:75–80.
10. Manceau, A., N. Tamura, M.A. Marcus, A.A. MacDowell, R.S. Celestre, R.E. Sublett, G. Sposito, and H.A. Padmore. 2002. Deciphering Ni sequestration in soil ferromanganese nodules by combining x-ray fluorescence, absorption, and diffraction at micrometer scale resolution. *Am. Mineral.* 87:1494–1499.
11. Liu, F., C. Colombo, P. Adamo, J. Z. He, and A. Violante. 2002. Trace elements in Manganese-Iron nodules from a Chinese Alfisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:661–670.
12. Водяницкий Ю.Н. Оксиды марганца в почвах. М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2005. 95 с.

### CHARACTERISTICS OF IRON-MANGANESE NODULES FROM THE SOILS OF THE PACIFIC OCEAN COAST

Ya.O. Timofeeva

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, timofeeva@biosoil.ru

**Summary.** *The contents and distribution of trace elements were investigated in various size fractions of iron-manganese nodules from brown soils. The levels of heavy metals accumulation, morphological features, and chemical and mineralogical compositions of the nodules varied significantly with the size of the nodules. It was shown that the enrichment factor of trace elements increases during the growth of nodules.*

**Keywords:** *iron-manganese nodules, trace elements, brown soils.*

## РАБОТЫ СТАЦИОНАРА КАРАЧИ, СОЗДАННОГО ИНСТИТУТОМ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ СО АН СССР, ПО ТЕМАТИКЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ (МБП)

А.А. Титлянова

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Россия, Новосибирск, argenta@issa.nsc.ru

**Аннотация.** Стационар Карачи, расположенный в лесостепной части Барабинской низменности, в течение 6 лет работал по программе МБП и выполнял ее основные задачи. Была определена фитомасса и чистая первичная продукция восьми разнообразных фитоценозов, подробно изучены почвы, оценены интенсивности миграции элементов с поверхностным стоком, вертикальная миграция растворов по профилю почвы и роль биотического круговорота в сохранении элементов питания в ландшафте.

**Ключевые слова:** Международная Биологическая Программа, катена, эволюция почв, растительный покров, горизонтальное и вертикальное движение воды и химических элементов, биологический круговорот.

Программа МБП поставила две основные задачи: оценка количества фитомассы и величины чистой первичной продукции (NPP) суши и океана Земли. Программа была грандиозна, как по поставленным задачам, так и по охвату экосистем. Исследования проводились в Евразии, в Северной и Южной Америке, в Австралии. В работе принимали участие 58 стран. Были исследованы тундры, экосистемы всего лесного пояса, включая лесотундру и дождевые тропические леса, а также травяные экосистемы. Биологи СССР активно участвовали в работах МБП. Была создана система специальных стационаров – тундровые, болотные, лесные, луговые, степные и горные.

Стационар Карачи находился в лесостепной части Барабинской низменности, где была выбрана катена. На катене размещалась цепь фитоценозов, начинающаяся луговой степью, продолжающаяся серией засоленных биогеоценозов и оканчивающаяся болотом. На катене по определенной строго ориентированной во времени программе проводились метеорологические, ботанические, почвенные, микробиологические и зоологические исследования сотрудниками пяти Институтов, входивших в комплекс «Стационар Карачи». В течение шести лет изучались растительные сообщества, их биоразнообразие, фитомасса и продуктивность. Главным достижением наших ботаников [1] было определение не только величин надземной фитомассы и ее продукции, но и динамики запасов подземной фитомассы и ее продукции. Для оценки подземной продукции необходимо было брать монолиты почвы, отмывать корни из этих монолитов, а затем делить подземную фитомассу на живую и мертвую части.

На основании динамики запасов с помощью балансовых уравнений впервые была получена оценка чистой первичной продукции степных, луговых и болотных фитоценозов [2]. Выяснилось, что чистая первичная продукция изменяется в биогеоценозах катены от 1,2 (бескильнищевый луг) до 11 т/га в год (вейниковое болото), составляя 4,2 т/га в год в терминальном сообществе луговой степи. Чистая подземная продукция в тех же фитоценозах достигает 2,8; 21,2 и 15,6 т/га в год. Подземная продукция превышает надземную в 2-4 раза. Общая чистая продукция (NPP) в травяных экосистемах меняется от 4 до 32 т/га в год.

Большинство травяных экосистем имеют большую продукцию по сравнению с умеренными лесами [3]. Высокие величины NPP травяных экосистем вызвали недоверие в среде ботаников, но работы других стационаров, расположенных на Евразийском континенте и в Северной Америке подтвердили правильность оценок, полученных на Карачинском стационаре. Таким образом, именно на стационаре Карачи были получены первые сведения, благодаря которым травяные экосистемы из ранга низкопродуктивных были переведены в ранг высокопродуктивных.

Поскольку стационар Карачи был создан Институтом почвоведения и агрохимии, огромное внимание было уделено изучению почв и их эволюционному развитию. Исследовались

морфология, физические и химические свойства почв [4]. Совокупность данных, полученных на катене, должна была привести к выяснению формирования почвенного покрова южной части Западносибирской равнины.

Т а б л и ц а 1

Баланс химических элементов в почвах разных типов элементарных ландшафтов, кг/га в год

Входные и выходные процессы	Соли			Минеральные вещества (за исключением солей)			С			N		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Вход с атмосферными осадками	95	256	3423	37	82	504	38	195	419	3,5	9,8	24,3
Выход с поверхностным и боковым стоком	24	952	2788	193	302	54	163	870	51	6,1	32,9	1,7
<b>Баланс</b>	<b>+71</b>	<b>-696</b>	<b>+635</b>	<b>-156</b>	<b>-220</b>	<b>+450</b>	<b>-125</b>	<b>-657</b>	<b>+368</b>	<b>-2,6</b>	<b>-23,1</b>	<b>+22,6</b>

Примечания. 1 – элювиальный ландшафт, чернозем обыкновенный; 2 – трансэлювиальный ландшафт, черноземно-луговая почва; 3 – аккумулятивный ландшафт, торфяно-болотная почва, приозерная пойма.

Для достижения поставленной цели решались три главных вопроса:

1. Каковы результаты горизонтального движения поверхностных вод и их влияние на изменение химии почвенных горизонтов.

2. Каково влияние вертикального движения просачивающихся и грунтовых вод на изменение химии почвенных горизонтов.

3. Насколько велика роль биотического круговорота в сохранении элементов питания растений в ландшафте.

Фактически были исследованы все абиотические потоки, входящие в экосистему и выходящие из нее, как в вертикальном, так в горизонтальном направлении (табл. 1).

Как следует из анализа данных таблицы 1, интенсивность миграции нарастает вниз по катене. Элювиальный ландшафт имеет положительный баланс солей за счет их привноса с атмосферными осадками и низкого выхода. Трансэлювиальный ландшафт теряет, а аккумулятивный накапливает все вещества.

Результаты вертикального движения, просачивающихся вод на изменение химии почвенных горизонтов показаны в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Баланс химических веществ в почвах элементарных ландшафтов [5]

Горизонт	Глубина, см	С	N	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Fe <sup>+++</sup>	Na <sup>+</sup>
Чернозем обыкновенный, т. 12								
A	0 – 20	-127,4	-2,8	+7,3	+9,0	-2,9	-1,4	+9,5
B <sub>1</sub>	20 – 35	+1,3	+0,2	-2,3	+0,1	+0,1	0	-3,2
Черноземно-луговая, т. 33								
A	0 – 23	-690,8	-26,4	-558,8	+6,4	-33,0	-17,0	-262,4
B	23 – 40	-1,6	+1,7	-17,1	+0,4	+10,3	+0,1	-39,7
Торфяно-болотная, т. 38								
A <sub>T</sub>	0 – 20	+267,0	+17,9	+224,9	+33,3	-18,8	+16,2	-46,8
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	20 – 35	+77,5	+1,9	-120,3	-28,3	-28,8	+0,8	-65,9

Рассматривая вертикальную миграцию, мы остановимся лишь на двух горизонтах – горизонт А – впитывающий осадки и воды поверхностного стока и одновременно отдающий элементы питания N, K и Ca растениям, горизонт В в основном сорбирует вымываемые из горизонта А элементы.

Углерод в больших количествах вымывается из горизонта А чернозема обыкновенного и черноземно-луговой почвы и накапливается в горизонтах А<sub>T</sub> и А<sub>1</sub>А<sub>2</sub> торфяно-болотной почвы. Азот в небольших количествах вымывается из горизонта А и накапливается в горизонте В чернозема обыкновенного и черноземно-луговой почвы; в торфяно-болотной почве азот

задерживается во всей толще. Бикарбонат ионы аккумулируются в горизонте А и вымываются из горизонта В чернозема обыкновенного. В черноземно-луговой почве бикарбонат ионы вымываются из обоих горизонтов. В торфяно-болотной почве бикарбонат ионы накапливаются в горизонте А<sub>Т</sub> и вымываются из горизонта А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>.

Ионы калия накапливаются в обоих горизонтах чернозема обыкновенного и в горизонте А в черноземно-луговой почве. В торфяно-болотной почве накопление калия происходит в горизонте А<sub>Т</sub> и вымывание в таких же количествах из ниже лежащего горизонта.

Кальций в небольших количествах вымывается из горизонта А чернозема обыкновенного и в значительных количествах из этого же горизонта черноземно-луговой почвы. В горизонте В происходит незначительное накопление Са в обеих почвах. В торфяно-болотной почве Са вымывается из всей верхней толщи.

Миграция железа невелика и обычно во всех почвах происходит его некоторое накопление в ниже лежащем горизонте.

Натрий накапливается в небольших количествах в горизонте А чернозема обыкновенного и в значительных количествах вымывается из горизонтов черноземно-луговой и торфяно-болотной почвы.

В целом баланс химических элементов в почвах катены свидетельствует о рассолении почв и переходе их в менее гидроморфную стадию [6].

Для характеристики поведения элементов в системах биотических и абиотических процессов был введен показатель абиотичности, который рассчитывается как отношение суммы интенсивностей входных (или выходных) абиотических процессов к интенсивности потребления данного элемента фитоценозом. В табл. 3 приведены показатели абиотичности только для суммы входных процессов.

Т а б л и ц а 3

**Коэффициенты абиотичности**

Позиция, экосистема	С	N	S*	m**
Элювиальная, луговая степь на черноземе обыкновенном	0,005	0,011	0,49	0,03
Трансэлювиальная, мезофитный луг на черноземно-луговой почве	0,015	0,096	0,77	0,04
Аккумулятивная, травяное болото на торфяно-болотной почве	0,013	0,036	5,91	0,16

\* – солевые компоненты; \*\* – несолевые компоненты.

Интенсивность процессов биотического круговорота значительно выше интенсивности абиотических процессов.

Положение экосистемы в рельефе и диктуемое этим положением соотношение интенсивностей процессов биотического круговорота и абиотической миграции определяет особенности функционирования экосистем и их эволюцию.

Луговые степи на обыкновенных черноземах характеризуются наибольшим относительным возрастом и близки к терминальной стадии развития. Водный режим почв непромывной. Водная миграция элементов определяется атмосферными осадками и поверхностным стоком. Геохимический баланс для несолевых компонентов равен нулю, для солей – слабо положительный. Биотический круговорот практически замкнут, режим функционирования – стационарный.

Разнотравные луга на черноземно-луговых солонцевато-солончаковатых почвах формируются в трансэлювиальных ландшафтах. Водный режим почв – периодически промывной, десуктивно-выпотной. Водная миграция определяется поверхностным стоком. Баланс водных мигрантов для почвы отрицательный, для грунтовых вод – слабо положительный. Режим функционирования переходной с редкими флюктуациями. Эволюция идет в сторону остепнения и трансформации почв в лугово-черноземные.

Травяные болота на торфянисто-болотных сильно осолоделых почвах формируются в аккумулятивных ландшафтах. Водный режим почв – промывной слабодесуктивно-выпотной.

Водная миграция определяется поверхностным стоком и нисходящими растворами. Баланс водных мигрантов положительный. Режим функционирования переходной. Экосистемы эволюционируют в сторону болотно-солончаковых лугов в условиях отрыва от грунтовых вод и дальнейшего засоления [7].

Таким образом, эволюция экосистем на модельной катене, отражающей биогеоценотический покров южной части Западносибирской равнины, идет на фоне постепенного обсыхания территории и направлена в сторону остепнения фитоценозов.

### Литература

1. Вагина Т. А., Шатохина Н. Г. Динамика запасов надземной и подземной органической массы степных, луговых и болотных фитоценозов // Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Новосибирск: Наука, 1976. Т. 2. С. 217–265.
2. Титлянова А.А. Изучение биологического круговорота в биогеоценозе (Метод. руководство) Новосибирск: Наука, 1971. 31 с.
3. Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах / отв. ред. А.А. Тишков. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 381 с.
4. Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. Т. 1. 307 с.
5. Базилевич Н.И., Курачев В.М., Чижикова Н.П., Градусов Б.П., Горина А.И. Формирование и состав вод внутрпочвенного нисходящего стока и миграция химических веществ // Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Новосибирск: Наука, 1976. Т. 2. С. 90–110.
6. Базилевич Н.И. Миграция химических веществ с атмосферными осадками и водами поверхностного стока // Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Новосибирск: Наука, 1976. Т. 2. С. 82–90.
7. Ковалев Р.В., Титлянова А.А., Базилевич Н.И., Курачев В.М. Особенности функционирования биогеоценозов // Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Новосибирск: Наука, 1976. Т. 2. С. 467–484.

### THE INTERNATIONAL BIOLOGICAL PROGRAM (1968-1974) RESEARCH CONDUCTED AT THE KARACHI EXPERIMENTAL STATION OF THE INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND AGROCHEMISTRY OF THE USSR SB AS

A.A. Titlyanova

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, argenta@issa.nsc.ru

**Summary.** *The Karachi Experimental Station, located in the forest-steppe of the Barabinsk lowland (55.344848N, 76.945782E, Novosibirsk region, Russia), during 6 years participated in the International Biological Program Research, fulfilling its major tasks. In eight different biogeocenoses the phytomass and net primary production was determined, their soils were studied in detail, migration rates of chemical elements with surface water flow were assessed, and vertical migration rates of solutes downwards soil profile evaluated. The role of biotic turnover in preserving nutrients in the landscape was established.*

**Keywords:** *International Biological Program, Barabinsk Lowland, catena, soil evolution, vegetation cover, horizontal and vertical migration of water and chemical elements, biological turnover.*

## ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АКТИВНОГО УГЛЕРОДА В ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ЗАЛЕЖНОГО ПРОЦЕССА

А.В. Трушков, М.Ю. Одабашян, К.Ш. Казеев

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, trushkov\_tolik@mail.ru

**Аннотация.** *Продемонстрированы результаты исследований содержания активного углерода в черноземах обыкновенных Ростовской области на разных стадиях залежного процесса. В ходе исследования восстановительных процессов на ранних стадиях залежного режима, было выявлено, что на третий год после вывода почвы из сельскохозяйственного оборота происходит увеличение содержания активного углерода в 2,5 раза. При этом содержание активного углерода на залежи возрастом 27 лет в 3 раза больше чем на участке пашни, а на старой залежи возрастом 72 года – в 3,5 раза выше.*

**Ключевые слова:** *залежный режим, чернозем обыкновенный, активный углерод, органическое вещество.*

Любой биогеохимический процесс связанных элементов не может обойтись без оценки содержания углерода, циклические превращения которого в биосфере включают этапы с образованием газообразных соединений, многие из которых ответственны за парниковый эффект [1].

Во всех наземных экосистемах запасы углерода зависят от соотношения между связыванием диоксида углерода и его потерями в процессе дыхания биоты. Основные составляющие углеродного баланса характеризуются высокой суточной, сезонной и годовой вариабельностью. Баланс углерода состоит из приходной части, поступающей с чистой первичной продукцией, и расходной, состоящей из разложения растительного вещества и потока углерода, который удаляется с почвенно-грунтовыми водами [2].

Оборот углерода в почвах подразделяют на несколько этапов: активный углерод (менее 2,7 лет), медленный (более 9-10 лет), пассивный (более 1000 лет); между которыми происходит обмен соединениями, имеющие промежуточные значения этих параметров. В работах В.М. Семенова (2004), говорится, что краткосрочные круговороты углерода, поддерживающие микробную активность, питательный режим и сток биогенных газов, осуществляются в пределах активного этапа, в котором сосредоточено до 20-30% валового органического углерода [3].

Запасы почвенного углерода обычно оцениваются для слоя почвы глубиной до 1 м. Причиной является то, что в верхних (до 1 м) горизонтах подавляющего большинства почв содержание органического углерода составляет более 90% суммарных запасов всего почвенного профиля, достигающего часто 2 м и более, основной круговорот углерода осуществляется в верхнем слое почвы и мало затрагивает глубины больше 1 м, что может быть связано как с ухудшением режима аэрации почвы с глубиной, так и с изменением гидротермических условий в сторону их ухудшения для процессов минерализации органического вещества [4].

Продолжительная история антропогенного воздействия привела к изменению состава и структуры экосистемы и к существенным изменениям биогеохимических циклов основных биофильных элементов, прежде всего, углерода [5,6].

Целью нашего исследования было, выявить изменения активного углерода на разных стадиях залежного процесса черноземов обыкновенных.

**Объекты и методы исследования.** Полигоном для наших исследований послужил Ботанический сад Южного федерального университета. Опытный участок в 2016 году представлял собой пахотную территорию, поддерживаемую в состоянии черного пара, тем же годом участок был разделен на две части, одна из которых продолжает подвергаться антропогенному воздействию, а другая вступила в самостоятельный сукцессионный процесс восстановления. На момент проведения данного опыта молодой залежи было три года. Для положи-



тельного контроля были выбраны, расположенные там же в Ботаническом саду, две старовозрастные залежи 27 и 72 лет. Почвенные образцы отбирали с глубины 0–10 см и 45–50 см.

Определение активного углерода проводили модифицированным методом Блейра (1995), Вайль (2003). Принцип метода основан на окислении органического углерода почвы при взаимодействии с раствором перманганата калия. Обесцвечивание (потеря фиолетового цвета, снижение оптической плотности) в растворе  $KMnO_4$  пропорционально количеству окисляемого С в образце почвы. Определение степени изменения окраски проводится с помощью фотоколориметра [7].

**Результаты исследований.** В результате исследований выявлено, залежь 72 лет, как и предполагалось, имеет максимальное содержание активного углерода в верхнем горизонте (0–10 см) составило 70,2 мг/кг (рис.1). Что связано с обилием растительных, микробиологических и животных сообществ и их активный круговорот веществ.

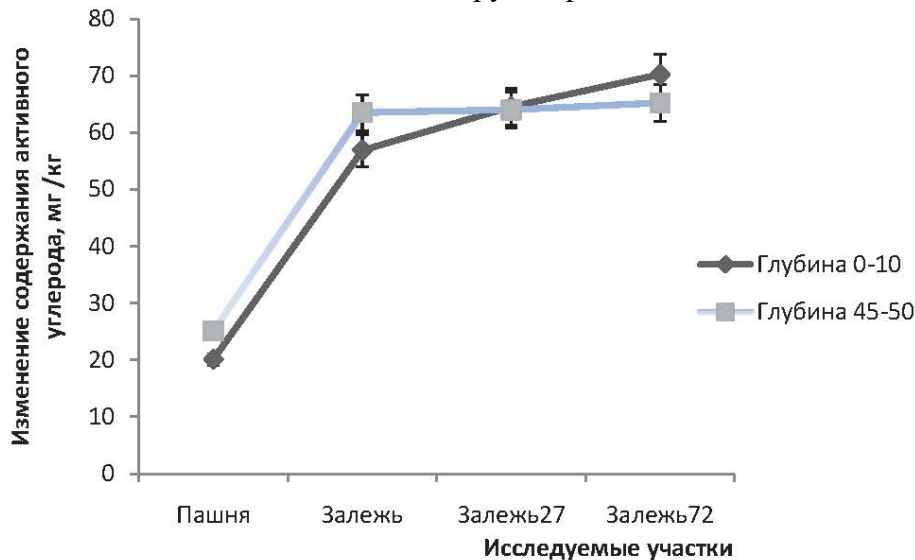


Рис. 1. Изменение содержание активного углерода на исследуемых участках

Минимальное содержание активного углерода было зафиксировано на пахотном участке и составило 20,1 мг/кг. Это связано, в первую очередь, с тем, что в сельскохозяйственной практике исходно используются наиболее плодородные почвы [8].

Увеличение содержания органического вещества в верхнем горизонте (0–10 см) на молодой залежи в 2,5 раза больше, чем на пахотном участке. Но все же не так велико, как на контрольных участках старовозрастных залежей, что, скорее всего, связано с началом восстановительного этапа, пока еще ослабленным дерновым процессом бурьянистой стадией демутиации.

На глубине 45–50 см отмечена такая же тенденция, минимальное содержание отмечено на пахотном участке и составила 25,1 мг/кг, максимальное на залежи 72 лет и составило 65,2 мг/кг. Стоит отметить, что содержание активного углерода на глубине 45–50 см на пахотном участке и молодой залежи выше, чем в верхнем горизонте 0–10 см, это может говорить о том, что антропогенная нагрузка в первую очередь воздействует больше всего на верхний (пахотный) горизонт. Ранее в исследованиях отмечали повышение значений биологических параметров залежных черноземов уже с первых лет демутиационного процесса [9, 10].

В результате данного исследования можно сделать вывод, что выведение старопашотной черноземной почвы приводит к увеличению содержания активного углерода уже в первые годы восстановительного процесса, как в верхних горизонтах, так и на глубине 45–50 см.

## Литература

1. Умаров М.М. Роль микроорганизмов почв в балансе азота в биосфере // Почвы – национальное достояние России: мат-лы 4 съезда Докучаевского общества почвоведов. Новосибирск: Наука Центр, 2004. Кн. 1. С. 373.

2. Сальникова Н.А., Сальников А.Л., Тюгай З., Полянская Л.М., Егоров М.А. Оценка содержания запасов углерода в гидроморфных почвах дельты Волги. // Вестник ОГУ. 2008. № 12.
3. Семенов В.М. Активное органическое вещество почвы и его источники // Почвы – национальное достояние России: материалы 4 съезда Докучаевского общества почвоведов. Новосибирск: Наука Центр, 2004. Кн. 1. С. 332.
4. Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник РАН. 2006. № 76(1). С. 14–29.
5. Lal R. Forest soils and carbon sequestration // For. Ecol. Manage. 2005. V. 220. P. 242–258.
6. Song C., Woodcock C.E. A regional forest ecosystem carbon budget model: impacts of forest age structure and landuse history // Ecol. Model. 2003. V. 164. P. 33–47.
7. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону. Издательство ЮФУ, 2012. 260с.
8. Щепаченко Д.Г., Мухортова Л.В., Швиденко А.З, Ведрова Э.Ф. Запасы органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2013. № 2. С. 123–132.
9. Трушков А.В., Одабашян М.Ю., Казеев К.Ш. Биологическая активность постагрогенного чернозема на ранних стадиях демутиации // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19, № 2 (2).
10. Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние возраста залежей на биологические свойства постагрогенных почв Ростовской области. Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2015. 130 с.

#### **CHANGES IN THE CONTENT OF ACTIVE CARBON AT DIFFERENT STAGES OF FALLOW PROCESS IN THE ORDINARY CHERNOZEM**

A.V. Trushkov, M.Yu. Odabashian, K.Sh. Kazeev

Southern Federal University, Rostov-on-don, trushkov\_tolik@mail.ru

**Summary.** *The results of studies of the active carbon content at different stages of the process of black ordinary in the Rostov region are demonstrated. During the study of recovery processes in the early stages of the fallow regime, it was found that the increase in the active carbon content in the third year after the removal of soil from under anthropogenic load increases by 2.5 times. At the same time, the content of active carbon in the deposits of 27 years is 3 times more than in the area with a constant anthropogenic load, and in the deposits of 72 years is 3.5 times higher.*

**Keywords:** *fallow regime, ordinary Chernozem, active carbon, organic matter.*

## ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИТУАЦИИ В СРЕДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

А.П. Учаев<sup>1</sup>, М.И. Дергачева<sup>2</sup>, О.А. Некрасова<sup>1</sup>, Н.Л. Бажина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург,  
o\_nekr@mail.ru

<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, mid555@yandex.ru

**Аннотация.** *Обсуждаются характеристики состава и спектральных свойств гуминовых кислот и их соотношений с другими компонентами гумусовых веществ в среднеплейстоценовых палеопочвах Южного Урала. На основе имеющейся базы данных по эколого-гумусовым связям почв разных условий формирования по продуктам органико-минеральных реакций – гумусовым веществам – выявлены аналоги между современными почвами и палеопочвами, реконструированы условия формирования палеопочв и особенности изменения палеоэкологической среды в среднем плейстоцене на Южном Урале.*

**Ключевые слова:** *гумусовые вещества, состав, спектральные свойства, палеопочвы, палеоэкологические обстановки, средний плейстоцен, Южный Урал.*

На Южном Урале расположены объекты, крайне важные для решения вопросов, связанных со спецификой палеоэкологических обстановок в среднем плейстоцене, и начато их изучение с позиций палеопочвоведения. Ими являются среднеплейстоценовые палеопочвы Миасского карьера, которые вмещаются, согласно В.В. Стефановскому [1], в Сарыкульский (Миасский), Тыньинский и Батурицкий горизонты отложений, охватывающие период около 600–800 тыс. лет назад.

Использование характеристик гуминовых кислот (ГК) палеопочв и их соотношения с другими компонентами гумусовых веществ, сохраняющих информацию об условиях формирования в своих признаках и свойствах, способствует проведению реконструкции палеоэкологического состояния природной среды практически не изученного с этих позиций среднего плейстоцена на Южном Урале.

Наибольший интерес представляет нижняя сарыкульская палеопочва (аналог MIS 19), с которой, по мнению В. В. Стефановского [2], связана граница Брюнес-Матуяма, и отложения Тыньинского горизонта (аналога MIS 18), поскольку изучение признаков педогенеза в отложениях холодных периодов проводится редко и их диагностика по содержанию, соотношению гумусовых веществ, а также составу и свойствам гуминовых кислот палеопочв Урала практически отсутствует.

**Объекты и методы исследований.** В качестве объектов исследования в настоящей работе рассматривается серия среднеплейстоценовых палеопочв, вскрытых зачистками в стенках глиняного карьера в районе города Миасс Челябинской области (Южный Урал).

Нижняя сарыкульская палеопочва вскрыта серией зачисток: 1-016, 2-013, 9-014, верхняя сарыкульская почва – в зачистке 2-013, Тыньинские отложения, которые венчает песчано-каменистый слой (ПКС), представлены зачисткой 5-016.

Карьер, в бортах которого зачистками вскрыты среднеплейстоценовые палеопочвы, расположен на территории, относящейся к Кундравинско-Учалинскому району подзоны сосново-березовых лесов лесной зоны восточного склона Урала [3]. Средняя температура самого теплого месяца +18,8°C, самого холодного равна –16,2°C, среднегодовая температура воздуха составляет +1,8°C, среднегодовое количество осадков – около 560 мм, сумма активных температур воздуха выше 10°C не превышает в среднем за год 1900°C [4, 5]. Глубина снежного покрова колеблется в среднем от 60 до 90 см, глубина промерзания почвы – в диапазоне 50–80 см.

Гуминовые кислоты из палеопочв и педогенно переработанных отложений выделялись общепринятым методом [6] без проведения традиционной жесткой очистки от зольных эле-

ментов бн HCl или смесью HF и HCl. Их доля в системе гумусовых веществ и соотношение с фульвокислотами выявлялось в ходе изучения состава гумуса по методике [7]. Элементный состав гуминовых кислот определялся на автоматическом элементном CHNS-O анализаторе EURO EA-3000 (Италия) и дублировался по Дюма-Преглю. Электронные спектры поглощения снимались на спектрофотометре Cary-60 UV VIS. Расчет коэффициентов цветности проводился по оптическим плотностям при длинах волн 465 нм и 650 нм ( $E_{465}:E_{650}$ ) [8]. Спектры флуоресценции снимались на сканирующем спектрофлуориметре Cary Eclipse Fluorescence Spectrophotometer (возб. = 330 нм). Для сравнения флуоресценции ГК использовали длину волны положения максимума флуоресценции ( $\lambda_{max}$ ) и величину первого момента  $M_1$  («центр тяжести спектра» или средневзвешенное значение частоты контура флуоресценции) которая рассчитывалась согласно [9].

Статистическая обработка данных проводилась по Е. А. Дмитриеву [10], графическое оформление результатов – с помощью компьютерной программы Origin Graph 6.1 и программы Statistica 8.0.

**Результаты исследований.** Одним из самых надежных признаков состава гуминовых кислот, параметры которых, с одной стороны, обладают спецификой, определяемой экологическими условиями их формирования, с другой – вполне сохраняются во времени и позволяют находить аналоги между ГК современных почв и палеопочв, а затем использовать их при реконструкции палеоэкологической обстановки прошлого, является соотношение структурообразующих элементов – водорода и углерода (H:C) [11]. Этот показатель хорош еще и тем, что тесно коррелирует с другими параметрами ГК [12], так, что его можно использовать как самостоятельный маркер при реконструкции палеоприродной среды.

С целью выявления аналогов между современными почвами разных типов и палеопочвами были получены характеристики элементного состава гуминовых кислот современных почв Южного Урала и прилегающих территорий, которые использовались при проведении реконструкции условий природной среды прошлого (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Среднестатистические величины соотношения основных элементов в гуминовых кислотах современных почв Южного Урала фоновых и прилегающих территорий (атомные отношения)**

Тип (подтип) почв	H:C	O:C	C:N
Бурые горно-лесные	1,15±0,04	0,63±0,03	23,67±4,39
Серые лесные	1,06±0,06	0,58±0,02	16,65±2,57
Черноземы выщелоченные	0,91±0,03	0,60±0,01	18,70±1,48
Черноземы обыкновенные	0,81±0,04	0,58±0,04	19,00±4,30

Полученные материалы по элементному составу ГК не противоречат сведениям, имеющимся в литературных источниках и в базе данных по эколого-гумусовым связям и показывают, что гуминовые кислоты современных почв Южного Урала фоновой и прилегающих территорий, формирующиеся в разных природно-климатических условиях, имеют специфические особенности соотношения элементов в их составе. Данные, представленные в табл. 1, показывают, что соотношения основных структурообразующих элементов лежат в пределах, выявленных для ГК аналогичных почв других территорий [13, 14]. Величина отношения H:C превышает 1,0 в гуминовых кислотах бурых горно-лесных почв в связи с преобладанием в их составе водорода над углеродом. В почвах лесостепных условий формирования обуглероженность и содержание азота в гуминовых кислотах увеличиваются, величины отношения H:C и C:N уменьшаются и составляют соответственно в среднем 0,91–1,06 и 16,65–18,70%, тогда как ГК почв степных условий формирования отличаются повышенной обуглероженностью по сравнению с лесостепными и уменьшением величины отношения H:C в среднем до 0,81±0,04.

Материалов, характеризующих спектры флуоресценции почв Урала очень мало, чтобы использовать их как рецентную основу для поиска аналогов между современными почвами и

палеопочвами, но имеющиеся данные для почв разных ландшафтных условий [8] показали, что первый момент в них имеет разные диапазоны величин. Там, где преобладают бурые гуминовые кислоты, первый момент не превышает 4500 Å, а где преобладают черные гуминовые кислоты, там эта величина более 4600 Å.

В результате исследования выделенных из палеопочв гуминовых кислот были получены данные, характеризующие их долю в составе гумуса, элементный состав, спектральные характеристики и величины соотношения с другим компонентом гумуса – фульвокислотами (табл. 2).

Данные, приведенные в табл. 2, показывают, что сарыкульские палеопочвы содержат повышенные количества гуминовых кислот, тогда как отложения Тынинского стратиграфического горизонта, формировавшиеся в период похолодания климата и перекрывающие сарыкульские палеопочвы, отличаются очень низким содержанием этого компонента гумусовых веществ, постепенно уменьшающегося от подошвы к кровле (24,5% в слое, относящемся еще к поверхности сарыкульской палеопочвы до 13% в верхнем песчано-каменистом слое). В этом же направлении в отложениях Тынинского горизонта закономерно изменяется величина соотношения гуминовых кислот и фульвокислот ( $C_{ГК}:C_{ФК}$ ), а также другие характеристики гумусовой составляющей осадков.

Что касается сарыкульских палеопочв, то показатели их гумусовой составляющей лежат хотя и в варьирующих пределах, но в целом отвечающих условиям лесостепи.

Т а б л и ц а 2

**Характеристики гумусовой составляющей палеопочв и отложений**

Глубина, см	Доля ГК в составе гумуса	$C_{ГК}:C_{ФК}$	Н:С	$E_4:E_6$	$\lambda_{max}$	$M_1$
Зачистка 9-014 – нижняя сарыкульская палеопочва						
0–10	47,8	1,90	0,89	3,45	490	501
10–20	50,6	1,86	0,92	3,49	504	501
20–30	53,2	1,93	0,95	3,52	482	493
40–50	52,2	1,88	0,96	3,44	495	502
50–60	46,2	1,71	0,90	3,45	497	500
60–70	47,9	1,52	0,86	3,42	497	499
Зачистка 2-013 – верхняя сарыкульская палеопочва*						
0–10	38,0	1,80	0,87	Не опр	482	480
20–36	37,3	1,48	0,97	Не опр	490	493
36–46	41,7	1,28	0,98	Не опр	495	488
46–56	44,9	1,53	0,96	Не опр	493	494
Зачистка 5-016 – Тынинские отложения						
ПКС*	13,0	0,30	2,60	Не опр.	Не опр.	Не опр.
Слой 1*	13,5	0,36	1,72	Не опр.	464	473
Слой 2**	16,0	0,57	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
Слой 3*	17,2	0,53	1,52	Не опр.	489	492
Слой 4**	16,1	0,49	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
Слой 5*	19,0	0,65	1,39	Не опр.	489	491
Слой 6*	24,5	0,77	0,98	Не опр.	495	504

\* Средние данные: для верхней сарыкульской почвы из 2–3 повторностей, для отложений Тынинского горизонта – для слоя в целом (n=5).

\*\* Индивидуальный показатель из-за очень небольшой мощности слоя.

Расчитанные среднестатистические данные, характеризующие соотношение структурообразующих элементов в гуминовых кислотах гумусовых горизонтов [А] среднеплейстоценовых палеопочв и отложений, представленные в табл. 3, были использованы для проведения диагностики ландшафтных и биоклиматических условий функционирования палеопочв Южного Урала.

Для этого применялись графики, обобщающие материалы по составу и свойствам гуминовых кислот современных почв, на которые «накладывались» результаты изучения ГК палеопочв.

Среднестатистические величины соотношения основных структурообразующих элементов в гуминовых кислотах горизонта [А] изученных среднеплейстоценовых палеопочв Южного Урала и отложений Тыньинского стратиграфического горизонта

Номер зачистки	Палеопочва	n	H:C	C:N
1-016	нижняя сарыкульская	10	0,86±0,06	17,19±0,81
2-013		14	0,82±0,17	16,55±0,37
9-014		12	0,89±0,05	15,85±1,37
2-013	верхняя сарыкульская	9	0,94±0,11	16,63±1,11
5-016	ПКС	1	2,60	14,0
	Толща, охватывающая 1-5 слои Тыньинских отложений*	3	1,54±0,14	–

\* Слой 6 не учитывался, поскольку он является переходным к сарыкульской палеопочве и, скорее всего, относится к ее гумусовому горизонту.

На рис. 1 представлены поля распределения показателей состава гуминовых кислот почв разных условий формирования Южного Урала в системе координат Н–С и определено положение аналогичных показателей состава ГК нижней сарыкульской палеопочвы, верхней сарыкульской почвы и отложений Тыньинского горизонта.

Они свидетельствуют, что формирование нижней палеопочвы протекало в теплых климатических условиях, аналогичных современной южной лесостепи, верхних сарыкульских палеопочв – в близких, но относительно более влажных условиях, а отложения Тыньинского горизонта формировались в холодных и влажных условиях, в целом, холоднее и влажнее, чем лесные (положение средней отметки показателя Н:С этих отложений лежит за пределами имеющихся в настоящее время диагностических полей для Южного Урала (рис. 1).

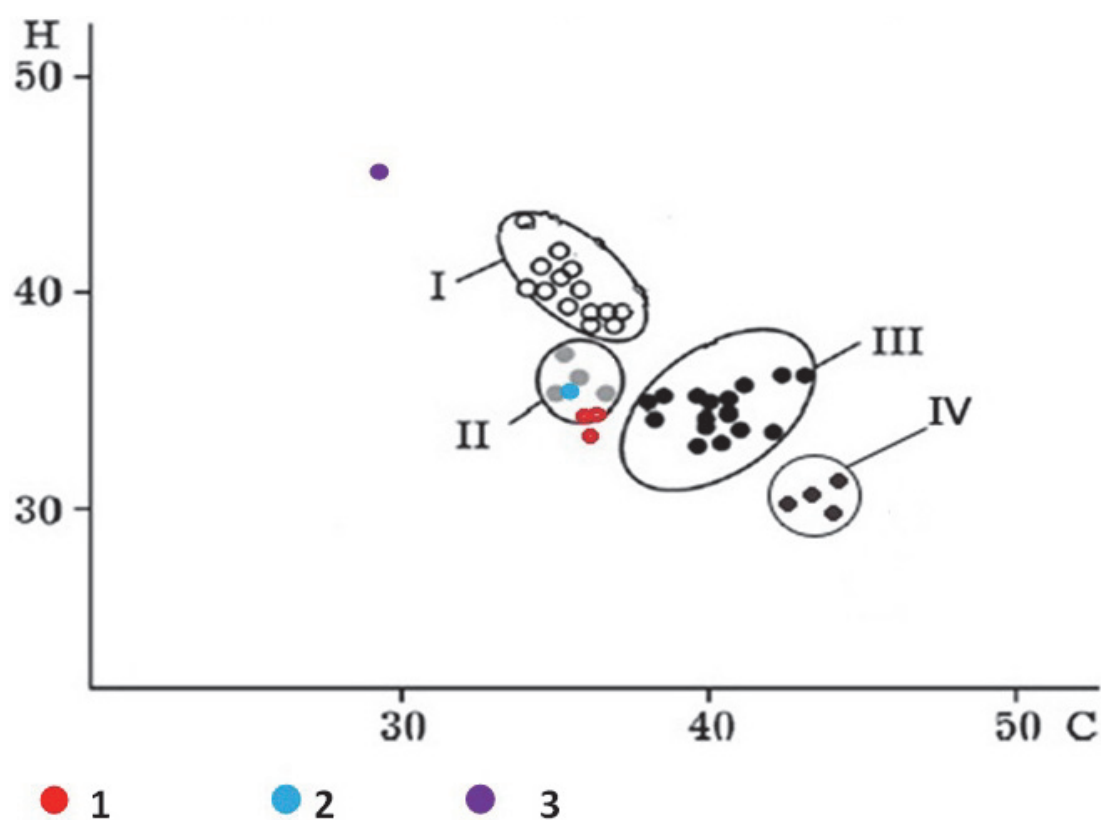


Рис. 1. Поля распределений характеристик состава гуминовых кислот почв Южного Урала лесных (I), лесостепных (II), степных умеренно-засушливых (III), степных засушливых (IV) условий формирования в системе координат Н–С и диагностика нижней сарыкульской палеопочвы (1), верхней сарыкульской палеопочвы (2) и Тыньинских отложений – (3)

На основании выявленной ранее связи между соотношением структурообразующих элементов (Н:С) и периодом биологической активности (ПБА) [15] проведено определение ПБА для сарыкульских палеопочв и Тыньинских отложений (рис. 2).

Ситуация, отраженная на рис. 2, показывает, что полученные данные о соотношении величин Н:С гуминовых кислот нижних и верхних сарыкульских палеопочв лежат в области значений периода биологической активности, характерной для современных лесостепных условий (140–160 дней) (рис. 2), а ПБА в период формирования отложений Тыньинского горизонта не превышает 60 дней, что характерно для суровых низкотемпературных условий.

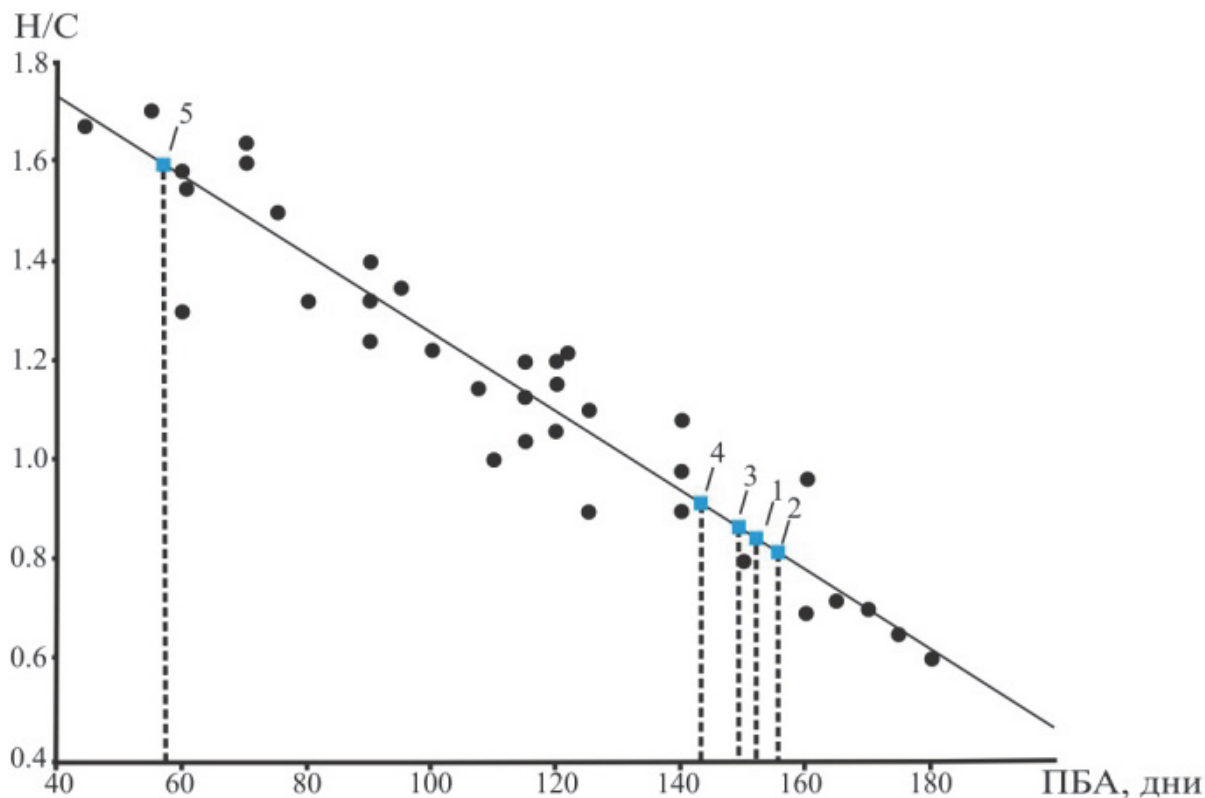


Рис. 2. Определение периода биологической активности по величине Н:С гуминовых кислот горизонта [А] палеопочв и отложений. Обозначения: для нижней сарыкульской палеопочвы (sr'), вскрытой зачистками 1-016 (1), 2-013 (2); 9-014 (3); для верхней сарыкульской палеопочвы (sr''), вскрытой зачисткой 2-013 (4); для толщи, охватывающей 1–5 слои Тыньинских отложений из зачистки 5-016 (5)

Сопоставление данных, характеризующих элементный состав и спектральные характеристики гуминовых кислот нижних сарыкульских, самых древних среди рассматриваемых, палеопочв, вскрытых серией зачисток (см. табл. 3), подтвердило, что их формирование, как и верхней сарыкульской палеопочвы, протекало в условиях лесостепи с отличающимися условиями увлажнения. Тыньинские отложения формировались в относительно холодных условиях, которые изменялись от нижних слоев к верхним в сторону похолодания.

Использование характеристик гуминовых кислот палеопочв, отражающих в своих признаках и свойствах условия своего формирования, позволило представить более детальную реконструкцию палеоэкологической обстановки в период среднего плейстоцена на Южном Урале. Изменение условий педогенеза четко просматривается также на гумусовой составляющей.

Таким образом, полученные аналитические данные, включающие элементный состав и спектральные характеристики, позволили впервые провести диагностику отложений среднего плейстоцена по признакам педогенеза, связанным с гумусовыми веществами, не только теплых периодов почвообразования, но и отложений, формировавшихся в холодных условиях среднего плейстоцена.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-35-50089 мол\_нр).*

### Литература

1. Стефановский В.В. Плиоцен и квартал Восточного склона Урала и Зауралья. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. 223 с.
2. Стефановский В.В. Схема стратиграфии четвертичных отложений Урала // Объяснительная записка к Стратиграфическим схемам Урала (Мезозой, кайнозой). Екатеринбург, 1997. С. 97–139.
3. Куликов П.В. Определитель сосудистых растений Челябинской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 969 с.
4. Справочник по климату СССР. Вып. 9. Ч. 4. Влажность воздуха и осадки. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1968. 372 с.
5. Климат: Миасс. 2018 // climate-data.org URL: <http://ru.climate-data.org/location/1843/> (дата обращения: 05.04.2018).
6. Орлов Д. С., Гришина Л. А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1981. 271 с.
7. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных). Л.: Наука, 1975. 106 с.
8. Дергачева М.И., Некрасова О.А., Лаврик Н.Л. Гуминовые кислоты современных почв Южного Урала. Новосибирск: Препринт, 2002. 24 с.
9. Паркер С. Введение в фотолуминесценцию растворов. М.: Иностран. лит., 1968. 156 с.
10. Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1995. 320 с.
11. Дергачева М. И. Гумусовая память почв // Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 530–560.
12. Бажина Н. Л. Гуминовые кислоты почв Западной части Тувы : автореф. дис. ... канд. биологических наук. Томск, 2016. 22 с.
13. Дергачева М.И., Некрасова О.А., Оконешникова М.В., Васильева Д.И., Гаврилов Д.А., Очур К.О., Ондар Е.Э. Соотношение элементов в гуминовых кислотах как источник информации о природной среде формирования почв // Сибирский экологический журнал. 2012 а. № 5. С. 667–676.
14. Дергачева М.И., Некрасова О.А., Васильева Д.И., Фадеева В.П. Элементный состав гуминовых кислот целинных черноземов в разных условиях формирования // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012 б. № 10 (146). С. 90–96.
15. Dergacheva M., Nekrasova O., Uchaev A., Bazhina N. Sarykul paleosol in Southern Urals sediments (Russia) // Quaternary International. 2016. V. 402. P. 90–100.

### PALEOECOLOGICAL SITUATIONS IN THE MIDDLE PLEISTOCENE IN THE SOUTHERN URALS

A.P. Uchaev<sup>1</sup>, M.I. Dergacheva<sup>2</sup>, O.A. Nekrasova<sup>1</sup>, N.L. Bazhina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, o\_nekr@mail.ru

<sup>2</sup> Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, mid555@yandex.ru

**Abstract.** *The characteristics of the composition and spectral properties of humic acids and their ratios with other components of humic substances in the Middle Pleistocene paleosols of the Southern Urals are discussed. Analogues between modern soils and paleosols have been identified, the conditions of paleosol formation and the features of the paleoenvironment change in the Middle Pleistocene in the Southern Urals have been reconstructed based on the available database on ecological-humus connections of different formation conditions soils on organic-mineral reactions products – humus substances.*

**Keywords:** *humus substances, composition, spectral properties, paleosols, paleoenvironment, the Middle Pleistocene, Southern Urals.*



## ПРОЯВЛЕНИЯ ГЕНОТОКСИЧНОСТИ ЛАНТАНА, ЦЕРИЯ И НЕОДИМА В РАСТВОРАХ И ПОЧВЕ

И.А. Фастовец<sup>1</sup>, А.Д. Котельникова<sup>2,3</sup>, О.Б. Рогова<sup>2</sup>, В.В. Столбова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Сколковский институт науки и технологий, Россия, Москва, fastovetsilya@yandex.ru

<sup>2</sup> ФГБНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия, Москва, a.d.kotelnikova@gmail.com

<sup>3</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия, Москва, vstol@bk.ru

**Аннотация.** В настоящей работе исследовали генотоксичность лантана, церия и неодима с выявлением частоты клеток с различными группами нарушений митоза. Тестирование проводилось с применением Allium-теста. Луковицы лука репчатого (*Allium cepa* L.) проращивали на растворах хлоридов изучаемых элементов. При цитологическом анализе препаратов, подготовленных из клеток апикальной меристемы лука, выделяли следующие группы нарушений митоза: мосты, фрагменты, отставания в метафазе, отставания в анафазе, слипания хромосом, К-митоз, дезинтегрированную метафазу, дезинтегрированная анафаза и другие. Нами было показано, что при тестировании растворов La, Ce и Nd статистически значимо увеличивается доля дезинтеграции метафазы при концентрациях этих металлов начиная с 10, 20 и 30 мг/л, соответственно. Кроме того, лантан также вызывал увеличение доли слипания хромосом при концентрации 20 мг/л и выше. В экспериментах с почвенными пастами значимых различий для La и Ce обнаружено не было, а Nd вызывал отставания в метафазе и дезинтеграцию анафазы, начиная с концентрации внесенного металла 20 мг/кг. Таким образом, как в растворах, так в почве было показано проявление генотоксичности лантаноидов при концентрациях, близких к фоновым. Также было показано различное проявление генотоксичности Nd в растворах и почве.

**Ключевые слова:** генотоксичность, лантаноиды, редкоземельные элементы, Allium-тест, нарушения деления клетки, митоз.

**Введение.** Лантаноиды – это группа металлов, относящихся к редкоземельным элементам (РЗЭ), которая, в свою очередь, включает в себя 17 представителей [1]. Традиционно наиболее значимыми РЗЭ для экологии и сельского хозяйства являются лантан, церий и неодим. Эти три металла характеризуются высокими кларками в земной коре и попадают в окружающую среду в больших количествах вместе с фосфорными удобрениями, а также находят применение в составе стимуляторов роста [2, 3]. Содержание La в естественных почвах варьирует в пределах 5.5 – 44 мг/кг, содержание Ce 11 – 86 мг/кг, содержание Nd 9.3 – 53 мг/кг [2], а в почвах агроэкосистем может быть в несколько раз выше [4].

В ряде исследований, в том числе в наших предыдущих работах, было показано, что La, Ce и Nd обладают цито- и генотоксическим действием, вызывая снижение активности деления клеток и увеличивая долю клеток с нарушениями деления [5, 6]. При этом, как нам известно, не проводилось сравнение частот для отдельных нарушений деления. Отсутствие таких данных может быть обусловлено тем, что эти эффекты достаточно редки и сложно поддаются цитогенетическому и статистическому анализу.

Нами был проведен сравнительный анализ частот нарушений деления в клетках апикальной меристемы корня лука репчатого в условиях Allium-теста. В первой серии экспериментов производили тестирование растворов, содержащих La, Ce и Nd. Во второй серии экспериментов производилось тестирование почвенных паст, содержащих эти элементы.

**Объекты и методы.** В настоящей работе мы применяли Allium-тест для тестирования генотоксичности растворов и почвенных паст, содержащих хлориды La, Ce и Nd.

В первой серии экспериментов проращивали луковицы в 5 повторностях в течение 5 дней в пробирках с растворами хлоридов La, Ce и Nd разных концентраций. В эксперименте с La тестировали следующие концентрации: 0 (дистиллированная вода, контроль), 10, 20, 50, 100, 200 мг/л. В экспериментах с Ce и Nd использовали следующие концентрации металлов: 0, 2, 5, 10, 30, 50 мг/л. Различия в концентрациях обусловлены большей токсичностью церия и неодима, не позволившей получить материал для цитологического анализа при проращивании лука на растворах с концентрациями, аналогичными тесту с лантаном.

Во второй серии экспериментов производили проращивание луковиц в схожих условиях, но вместо растворов использовали почвенные пасты, содержащие исследуемые РЗЭ. Почвенные пасты готовили из дерново-подзолистой почвы, влажность в ходе эксперимента поддерживали на уровне наименьшей влагоемкости. Использовали варианты со следующими концентрациями La, Ce и Nd: 0 (естественный фон в почве), 10, 20, 50, 100, 200 мг/кг. Высокие концентрации Ce и Nd брали в связи с тем, что токсичность элементов в почве оказывалась менее выраженной по сравнению с растворами.

В экспериментах с каждым из металлов мы анализировали около  $10^5$  клеток, подразделяя клетки с нарушениями деления на следующие группы: мосты, фрагменты, отставания в метафазе, отставания в анафазе, слипание хромосом, К-митоз, дезинтеграция метафазы, дезинтеграция анафазы, другие. Далее для каждой группы производились сравнения частоты встречаемости нарушения (доля клеток с этим нарушением от общего числа делящихся клеток) с контролем.

Для решения проблемы попарных сравнений для низких частот нами был использован точный тест Фишера, который позволяет сравнивать частоты даже если в одной из сравниваемых групп нарушение отсутствовало. Коррекция р-значений на множественные сравнения производилась при помощи метода Бенджамини-Хохберга-Иекутиелли, который обладает большой мощностью и не требует дополнительных допущений. Различия считались значимыми при  $p < 0.05$ . В качестве меры разброса рассчитывали точные биномиальные 95% доверительные интервалы Клоппера-Пирсона для долей. Все расчеты производили в среде R.

**Результаты.** В результате тестирования растворов, содержащих La, Ce и Nd, нами было обнаружено, что все три элемента приводят к выраженному и статистически значимому увеличению доли дезинтеграции метафазы. В опыте с La статистически значимое увеличение доли встречаемости дезинтеграции метафазы по сравнению с контролем обнаруживалось во всех исследуемых концентрациях, в опыте с Ce при концентрациях 30 и 50 мг/л, в опыте с Nd был обнаружен значимый пик при концентрации 30 мг/л. Кроме того, применение La также приводило к увеличению доли слипания хромосом по сравнению с контролем при концентрациях 20, 50 и 200 мг/л.

При тестировании почвенных паст мы наблюдали в 2-3 раза более широкий доверительный интервал Клоппера-Пирсона для долей нарушений, по сравнению с растворами. Это может быть обусловлено высокой гетерогенностью почвы как объекта тестирования.

При тестировании почвенных паст мы не обнаружили статистически значимых отличий частоты встречаемости нарушений от контроля в опытах с La и Ce. В опыте с Nd нами был обнаружен устойчивый тренд на рост доли дезинтеграции анафазы, а различия с контролем были статистически значимыми при концентрациях внесенного металла 20, 100 и 200 мг/кг, и также наблюдалось различие при концентрации 50 мг/кг, не достигающее до уровня значимости ( $p = 0.06$ ). Кроме того, нами были обнаружены статистически значимые отличия от контроля значений частоты отставаний в метафазу при концентрациях 10 и 20 мг/кг.

**Обсуждение.** В наших исследованиях даже невысокие концентрации лантаноидов приводили к значительным цитогенетическим нарушениям в клетках биотестера.

В серии экспериментов с растворами все исследуемые элементы оказывали влияние на протекание митоза в метафазе, что может свидетельствовать о сходных механизмах генотоксичности изучаемых лантаноидов. Результаты также показали, что влияние лантана на частоту встречаемости клеток с дезинтеграцией метафазы значимо проявлялось при более низкой концентрации элемента. Кроме того, лантан в относительно низкой концентрации приводил к значимому увеличению доли слипания хромосом, в отличие от церия и неодима. Тем не менее, нельзя утверждать однозначно, что генотоксический эффект лантана выше, поскольку эффект возможен в опытах с церием и неодимом, но не достигает статистической значимости.

В серии экспериментов с почвенными пастами оценки доверительных интервалов долей нарушений были настолько велики, что не позволили выявить значимых различий в опытах с La и Ce. Тем не менее, отмечается выраженное влияние Nd на встречаемость отставания в метафазу и дезинтеграцию анафазы.

Допущением наших исследований являлось предположение о том, что клетки, взятые из всех 5 повторностей эксперимента, представляют собой выборку из одной генеральной совокупности, что позволило применить точный тест Фишера для расчетов статистической значимости различий между долями и часто используются в подобных работах. В действительности же, при таком анализе часть случайной ошибки может быть не выявлена, а именно, ошибка, связанная с биологической вариабельностью и различными реальными условиями выращивания каждой из повторностей-луковиц (хотя условия моделировались максимально схожими). В нашем случае другого подхода для решения задачи практически не было, поскольку некоторые события нарушений митоза были чрезвычайно редкими. Тем не менее, выявленное сходство частот, нарушений, значительный диапазон варьирования показателей, тренд дозовой зависимости воздействия и высокая статистическая значимость позволяют предполагать, что наблюдаемые эффекты имеют место в действительности. Кроме того, взятые нами для исследования лантаноиды обладают схожими ионными радиусами и химическими свойствами, что позволяет также предположить сходные механизмы воздействия на генетический аппарат клетки.

Ранее было показано, что воздействие РЗЭ на клетки может приводить к разнообразным токсическим эффектам, среди которых отмечается увеличение содержания активных форм кислорода, пероксидация липидов, уменьшение или увеличение активности каталазы, супероксиддисмутазы и других ферментов [7]. Можно предположить, что эти проявления оксидативного стресса вовлечены в процессы, приводящие к наблюдаемым нами цитогенетическими эффектам. Для изучения конкретных механизмов воздействия РЗЭ на митоз необходимы более детальные исследования.

*Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ). Номер гранта 18-316-00026.*

### Литература

1. Connelly N. G., Hartshorn R. M., Damhus T., Hutton A. T. (ed.). Nomenclature of inorganic chemistry: IUPAC recommendations 2005. Royal Society of Chemistry, 2005.
2. Tyler G. Rare earth elements in soil and plant systems-A review //Plant and soil. 2004. Т. 267, № 1-2. С. 191–206.
3. Hu Z., Haneklaus S., Sparovek G., Schnug E. Rare earth elements in soils // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2006. Т. 37, № 9-10. С. 1381–1420.
4. Sadeghi M., Petrosino P., Ladenberger A., Albanese S., Andersson M., Morris G., De Vivo B., et. al. Ce, La and Y concentrations in agricultural and grazing-land soils of Europe //Journal of geochemical exploration. 2013. Т. 133. С. 202–213.
5. de Oliveira C., Ramos S.J., Siqueira J.O., Faquin V., de Castro E.M., Amaral D.C., Guilherme L.R., et. al. Bioaccumulation and effects of lanthanum on growth and mitotic index in soybean plants // Ecotoxicology and environmental safety. 2015. Т. 122. С. 136–144.
6. Котельникова А.Д., Фастовец И.А., Рогова О.Б., Столбова В.В. // Бюллетень Почвенного института им. ВВ Докучаева. 2017. № 89.
7. Pagano G., Guida M., Tommasi F., Oral R. Health effects and toxicity mechanisms of rare earth elements – Knowledge gaps and research prospects // Ecotoxicology and environmental safety. 2015. Т. 115. С. 40–48.

### GENOTOXIC EFFECTS OF LANTHANUM, CERIUM, AND NEODYMIUM IN THE SOLUTION AND SOIL

I.A. Fastovets<sup>1,2</sup>, A.D. Kotelnikova<sup>2,3</sup>, O.B. Rogova<sup>2</sup>, V.V. Stolbova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Skolkovo Institute of Science and Technology, fastovetsilya@rambler.ru

<sup>2</sup> Dokuchaev Soil Science Institute, Russia, Moscow, a.d.kotelnikova@gmail.com

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow, vstol@bk.ru

**Summary.** *In the present work genotoxicity of lanthanum, cerium, and neodymium was studied, and the disturbances of mitosis caused by these elements were classified into the groups. For the toxicity assay we used Allium-test, i.e. onion germination in the solution and soil paste, and subsequent microscopic analysis of onion root tips cells, and counting of the disturbances of mitosis. Then the disturbances were classified into the following groups: bridges, fragments, lagging metaphase, lagging anaphase, chromosome stickiness, k-mitosis, disintegration of metaphase, disintegration of anaphase, and other. We show hereby that La, Ce, and Nd in the solution significantly increase the proportion of disintegration of metaphase at concentrations starting from 10, 30, and 30 mg/l, respectively. La also causes increased proportion of stickiness of chromosomes at concentrations 20 mg/l, and higher. In experiments with soil paste there are no significant differences in La and Ce, but Nd-induced increase in the proportions of lagging metaphase and disintegration of anaphase are found starting from 20 mg/kg. Thus, in both solutions and soil there are possible genotoxic effects of lanthanides at near background concentrations. We also show different genotoxic effects of Nd in the solution and soil.*

**Keywords:** *genotoxicity, lanthanides, Allium-test, disturbances, mitosis.*

## ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В САДОВО-ОГОРОДНЫХ ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Р.Ф. Хасанова<sup>1,2</sup>, Я.Т. Суюндуков<sup>1,2</sup>, И.Н. Семенова<sup>1</sup>, Ю.С. Рафикова<sup>1</sup>, Г.Ш. Сингизова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», Сибайский филиал, Сибай

<sup>2</sup> Сибайский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», Сибай

<sup>3</sup> ГБПОУ «Сибайский колледж строительства и сервиса», Сибай

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования загрязнения почв коллективных садов пригородной зоны г. Сибай, промышленного центра юго-восточной части Республики Башкортостан, тяжелыми металлами, обусловленным техногенным воздействием, накладываемым на естественный геохимический фон. Исследованиями выявлено, что почвы садов по содержанию подвижных соединений металлы убывают в ряду (мг/кг): Mn (44,3) > Zn (23,9) > Pb (3,92) > Fe (3,8) > Cu (0,94) > Cd (0,24). Полученные результаты показывают существенные превышения ПДК тяжелых металлов (САНПИН 42-123-4089-86) почти у всех исследуемых культур, выращенных в условиях коллективных садов. Исходя из полученных данных, построены убывающие ряды аккумулируемых садовыми культурами тяжелых металлов: для картофеля и моркови: Fe > Zn > Cu > Mn > Pb > Cd; для укропа, клубники, малины и яблони: Fe > Zn > Mn > Cu > Pb > Cd. Очень высокие концентрации Fe, Zn, Cu, Pb и Mn выявлены в листьях укропа. Также высокое содержание Fe, Zn, Cu наблюдается в ягодах малины. Корнеплоды моркови накапливают больше элементов, чем клубнеплоды картофеля. В клубнике выявлены высокие концентрации Fe, Zn и Pb, тогда как в яблоках концентрация изучаемых металлов меньше, чем в других исследуемых культурах.

**Ключевые слова:** Республика Башкортостан, тяжелые металлы, загрязнение почв, горнорудная промышленность.

Юго-восточный регион Республики Башкортостан характеризуется наличием большого количества медноколчеданных месторождений, что способствовало бурному развитию горнодобывающей и рудоперерабатывающей промышленности на протяжении 50-80 лет.

Объектом данного исследования выбран г. Сибай, градообразующим предприятием которого является филиал Учалинского ГОКа, известный ранее как Башкирский медно-серный комбинат (БМСК). В состав предприятия входят Сибайский и Камаганский карьеры по добыче медных и медно-цинковых колчеданных руд, Сибайская обогатительная фабрика (СОФ). Кроме того, в городе более 10 лет функционирует крупная Зауральская теплоэлектростанция. Деятельность промышленных предприятий города без учета экологических нормативов привела к формированию техногенных провинций с повышенным геохимическим фоном [1]. Многолетние исследования объектов окружающей среды города и, в целом, региона подтверждают повышенное содержание ряда химических элементов в почвенном покрове, растениях, биосубстратах человека [2–4]. Полиметаллическому загрязнению подвергаются почвы индивидуальных приусадебных участков, коллективных садов и огородов. Поступление химических элементов в окружающую среду существенно снижает качество и питательную ценность плодово-ягодных и овощных культур [5, 6]. Концентрация тяжелых металлов растениями, особенно съедобной частью, во многом определяется его защитными способностями. Высшие растения могут содержать в себе опасные для животных и человека концентрации химических элементов [7]. Изучение количественного содержания тяжелых металлов в растениях дает возможность оценивать экологическое состояние данного региона.

Целью работы было изучение содержания тяжелых металлов (Zn, Fe, Cu, Pb, Mn, Cd) в почвах коллективных садов пригородной зоны г. Сибай, граничащих с северо-востока с СОФ и расположенных в радиусе 14 км от него, а также в выращиваемой на них растениеводческой продукции, в перечень которой вошли фруктово-ягодные культуры (клубника крупноплодная *Fragaria ananasa* Duch., малина обыкновенная *Rubus idaeus* L., яблоня домашняя *Malus domestica* Borkh.); овощные культуры (картофель *Solanum tuberosum* L., морковь посевная *Daucus carota* L., укроп огородный *Anethum graveolens* L.)

**Объекты и методы исследования.** Почвенные образцы отбирали методом «конверта» из верхнего слоя высотой 20 см. Физико-химические свойства почв определяли общепринятыми в почвоведении и агрохимии методами [8].

Химические элементы в почвенных и растительных пробах выявляли методом атомной абсорбции на спектрофотометре «Спектр-5» и методом инверсионной вольтамперометрии на приборе СТА. Знание валового содержания металлов в почве не дает объективной оценки о степени доступности элементов для растений, поэтому мы определяли наиболее доступные для растений подвижные формы тяжелых металлов

Отобранные ягоды избавляли от веточек и плодоножек. Корнеплоды и клубни картофеля мыли и очищали от кожуры, высушивали, измельчали и анализировали.

Для оценки количества металлов, перешедших из почвы в растение, вычисляли коэффициент накопления ( $K_H$ ), который рассчитывается как отношение содержания элемента в золе растений к содержанию его подвижных форм в почве.

**Результаты и обсуждение.** Преобладающий почвенный покров региона представлен черноземами обыкновенными тяжелого механического состава. Однако, в результате окультуривания садово-огородные почвы могут значительно отличаться по свойствам от исходных почв. Анализ некоторых физико-химических свойства почв садов г. Сибай в слое 0-20 см показал, что количество гумуса в нем составляет 7,6%, сумма поглощенных оснований также достаточно высокая (44,1 мг.экв на 100 г почвы). Значительное место в почвенно-поглощающем комплексе (ППК) занимает кальций (29,2 мг.экв/100 г). Содержание аммонийного азота составляет 32,3 мг/кг, нитратного азота – 34,1 мг/кг. Реакция солевой вытяжки нейтральная (рН = 6,6). Гидролитическая кислотность – 1,15 мг.экв на 100 г почвы.

В целом, повышенные содержания гумуса, суммы поглощенных оснований и кальция в ППК, также нейтральная среда свидетельствуют о высоких буферных свойствах исследуемых почв по отношению к тяжелым металлам.

Содержание подвижной меди в исследуемых почвах в среднем составляет  $0,94 \pm 0,13$  мг/кг, что не превышает ПДК, установленной на уровне 3 мг/кг. Уровень содержания подвижных соединений цинка составляет  $23,9 \pm 2,32$  мг/кг, что находится примерно на уровне ПДК<sub>подв</sub> (23,0 мг/кг). Среднее содержание подвижных соединений Pb в почвах садов составила  $3,92 \pm 0,31$  мг/кг, что не превышает значения ПДК, равной 6 мг/кг. Уровень содержания подвижных соединений кадмия в почвах садов составляет в среднем  $0,24 \pm 0,03$  мг/кг. Нормативы содержания в почве подвижных форм кадмия в России еще не разработаны С.В. Лукин с соавторами [9] считают, что для черноземов с рН > 5 целесообразно принять за ОДК 0,7 мг/кг, так как именно при таком количестве подвижного кадмия, наступает загрязнение наиболее устойчивых культур. В работе В.Б. Ильина [10] приводятся сведения о загрязнении картофеля и овощных культур кадмием при содержании металла в почве 1 мг/кг. Поэтому ориентировочно была названа предельно допустимая концентрация в почве, обеспечивающая получение экологически чистой продукции, равная 0,5 мг/кг [6]. Полученные нами результаты находятся ниже этих значений.

Железо в черноземных почвах является малоподвижным, достаточно инертным и устойчивым элементом, что определяется геохимическими, гидрологическими и климатическими особенностями степной зоны и свойствами самих почв. Исследования показали, что содержание подвижных форм железа в почвах садов незначительно и составляет в среднем  $3,8 \pm 0,54$  мг/кг, его концентрация не превышает РГФ, равный 3800 мг/кг [11].

Концентрация подвижного марганца в исследуемых почвах составляет в среднем  $44,3 \pm 3,5$  мг/кг, что не превышает ПДК<sub>подв</sub>, (80 мг/кг) [12].

Исследованиями выявлено, что содержание подвижных форм изученных тяжелых металлов в почвах садов г. Сибай не превышает ПДК, ОДК<sub>Cd</sub>, РГФ<sub>Fe</sub>. По содержанию подвижных соединений металлы убывают в ряду (мг/кг): Mn (44,3) > Zn (23,9) > Pb (3,92) > Fe (3,8) > Cu (0,94) > Cd (0,24).

Следующим этапом работы являлось изучение экологического качества растениеводческой продукции в условиях техногенеза. Концентрация тяжелых металлов в плодовых и овощных культурах, выращиваемых в садах г. Сибай, представлена в табл. 1.

Содержание тяжелых металлов в плодово-ягодных и овощных культурах, выращиваемых в садах г. Сибай (среднее  $\pm$  ст. откл), мг/кг

Продукция	Cu	Zn	Pb	Cd	Fe	Mn
Картофель	5,48 $\pm$ 1,21	19,40 $\pm$ 3,98	0,78 $\pm$ 0,12	0,036 $\pm$ 0,007	157,3 $\pm$ 33,5	4,45 $\pm$ 0,73
Морковь	6,65 $\pm$ 1,12	27,12 $\pm$ 2,41	1,85 $\pm$ 0,10	0,137 $\pm$ 0,021	152,9 $\pm$ 22,5	11,53 $\pm$ 2,34
Укроп	9,97 $\pm$ 2,02	96,72 $\pm$ 8,85	3,58 $\pm$ 0,27	0,121 $\pm$ 0,027	432,5 $\pm$ 127,3	28,50 $\pm$ 4,35
Клубника	2,32 $\pm$ 0,34	13,24 $\pm$ 2,54	0,43 $\pm$ 0,11	0,038 $\pm$ 0,009	187,3 $\pm$ 31,2	26,52 $\pm$ 2,45
Малина	7,97 $\pm$ 1,21	31,22 $\pm$ 3,24	1,55 $\pm$ 0,09	0,153 $\pm$ 0,029	252,7 $\pm$ 32,3	15,24 $\pm$ 2,10
Яблоки	3,34 $\pm$ 0,65	4,35 $\pm$ 0,48	0,75 $\pm$ 0,12	0,029 $\pm$ 0,009	70,5 $\pm$ 26,7	3,69 $\pm$ 0,54
ПДК СанПин 42-123-4089- 86	5	10	0,4	0,03	50	-

Полученные нами результаты показывают существенное превышение ПДК тяжелых металлов почти у всех исследуемых культур. Исходя из полученных данных, построены убывающие ряды аккумулируемых садовыми культурами тяжелых металлов: для картофеля и моркови: Fe > Zn > Cu > Mn > Pb > Cd; для укропа, клубники, малины и яблони: Fe > Zn > Mn > Cu > Pb > Cd. Очень высокие концентрации Fe, Zn, Cu, Pb и Mn выявлены в листьях укропа. Коэффициенты накопления (Кн) железа для укропа в среднем составляют 106,7, меди – 11,2, цинка – 10,7, других металлов менее 0,9. Также высокое содержание Fe, Zn и Cu наблюдается в ягодах малины, Кн железа составляет 78,2, меди – 15,2 и цинка – 3,2. Корнеплоды моркови накапливают больше элементов, чем клубнеплоды картофеля, значения Fe, Zn, Cu и Pb, выше установленных норм ПДК, Кн железа для моркови составляет 38,7 для картофеля – 37,5, меди – 3,3 и 2,8 и цинка – 9,9 и 6,2, соответственно. В клубнике выявлены высокие концентрации Fe, Zn и Pb, Кн железа составляет 47,2, цинка – 0,5 и меди – 0,2. В яблоках концентрация металлов меньше, чем в других исследуемых культурах, выявлено некоторое превышение Fe (1,4 раза) и Pb (1,8 раза), Кн железа в среднем составляет 18,3, меди – 7,3.

**Заключение.** Таким образом, аккумуляция токсичных элементов в растениеводческой продукции зависит от индивидуальной избирательности каждого отдельного вида. В культурах, выращиваемых в зоне повышенного техногенного воздействия в количествах, превышающих ПДК, способны накапливаться Fe, Zn, Cu, Mn и Cd. Наибольшую чувствительность к загрязнению проявляют листовые овощи – укроп огородный *Anethum graveolens* L, затем сочные ягоды малины обыкновенной *Rubus idaeus* L. Корнеплоды моркови посевной *Daucus carota* L. накапливают больше элементов, чем клубнеплоды картофеля *Solanum tuberosum* L. В наименьшем количестве токсичные элементы накапливаются в плодах яблони домашней *Malus domestica* Borkh.

Публикация подготовлена в рамках поддержанного РФФИ и Правительством Республики Башкортостан научного проекта 17-16-02002-ОГН ОГН-Р\_УРАЛ-А.

### Литература

1. Никонов В.Н., Шамсутдинова Л.Р., Зверева Т.И., Белан Л.Н. Природные и антропогенные геохимические аномалии тяжелых металлов в Башкирском Зауралье как аспект системного анализа геопатогенных зон // Уральский экологический вестник. 2015. №2. С. 3 – 7.
2. Хасанова Р.Ф., Семенова И.Н., Суяндукоев Я.Т., Рафикова Ю.С., Ильбулова Г.Р., Кузина Г.Ш., Сингизова Г.Ш. Эколого-токсикологическое состояние городских почв в условиях геохимических аномалий // Проблемы региональной экологии. 2017. №5. С. 5.
3. Суяндукоев Я.Т., Семенова И.Н., Зулкарнаев А.Б., Хабиров И.К. Антропогенная трансформация почв города Сибай в зоне влияния предприятий горнорудной промышленности. Уфа: АН РБ, Гилем, 2014. 124 с.
4. Опекунова М.Г., Алексеева-Попова Н.В., Арестова И.Ю., Грибалев С.В., Краснов Д.А., Бобров Д.Г., Осипенко О.А., Соловьева Н.И. Тяжелые металлы в почвах и растениях Южного Урала: экологическое состояние фоновых территорий // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2001. Вып. 4. (№ 31). С. 45–53.

5. Кузнецов М.Н., Мотылева С.М. Накопление тяжелых металлов в плодах и почве в зоне техногенного загрязнения // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2008. №4. С. 80-82
6. Суяндукров Я.Т., Янтурин С.И., Сингизова Г.Ш. Накопление и миграция тяжелых металлов в основных компонентах антропогенных экосистем Башкирского Зауралья в зоне влияния объектов горнорудного комплекса. – Уфа: Ан РБ, Гилем, 2013. 156с.
7. Ксенофонтова Т.И. Особенности содержания тяжелых металлов в ягодных культурах долины реки Лены // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. Москва, 2014. С.77-79
8. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
9. Лукин С.В., Явтушенко В.Е., Солдат И.Е. Накопление кадмия в сельскохозяйственных культурах в зависимости от уровня загрязнения почв // Агрохимия. 2000. № 2. С. 73–77.
10. Ильин В.Б. Почвообразование и элементы – биофилы / Химические элементы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982. С. 73–92.
11. Ягафарова Г.А. Экологические особенности тысячелистника азиатского в условиях природного загрязнения тяжелыми металлами: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Тольятти, 2006. 12 с.
12. Дмитраков Л.М., Дмитракова Л.К., Пинский Д.Л. Экологическое нормирование содержания тяжелых металлов в системе почва-растение // Сборник материалов II Международной научной конференции «Современные проблемы загрязнения почв», Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова. 2007. Т. 1. С. 83-87.

## HEAVY METALS IN GARDEN-VEGETABLE SOILS AND PLANTS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF MINING PRODUCTION

R.F. Khasanova<sup>1,2</sup>, Ya.T. Suyundukov<sup>1,2</sup>, I.N. Semenova<sup>1</sup>, Yu.S. Rafikova<sup>1</sup>, G.Sh Singizova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Strategic Studies of the Republic of Bashkortostan, Sibay Branch, rezeda78@mail.ru

<sup>2</sup> Sibaysky Institute (Branch) of Bashkir State University, Sibay, yalil\_s@mail.ru

<sup>3</sup> Sibay College of Construction and Service, Sibay, alexa-94@mail.ru

**Summary.** *The paper presents the results of a study of soil contamination in collective gardens in the suburbs of Sibai. The city is located in the south-eastern part of the Republic of Bashkortostan. The mining industry is developed in the region, due to which heavy metal pollution is observed. Studies have revealed that the soils of gardens in the content of mobile compounds metals decrease in the series (mg / kg): Mn (44.3) > Zn (23.9) > Pb (3.92) > Fe (3.8) > Cu (0.94) > Cd (0.24). The obtained results show significant excess of the permissible concentrations of heavy metals in almost all studied cultures grown in collective gardens. Based on the obtained data, decreasing series of heavy metals accumulated by garden crops have been constructed: for potatoes and carrots: Fe > Zn > Cu > Mn > Pb > Cd; for dill, strawberry, raspberry and apple: Fe > Zn > Mn > Cu > Pb > Cd. Very high concentrations of Fe, Zn, Cu, Pb and Mn are found in dill leaves. Also, a high content of Fe, Zn, Cu is observed in raspberry berries. Root carrots accumulate more elements than the tubers of potatoes. In the strawberry, high concentrations of Fe Zn and Pb are detected, whereas in apples the concentration of the studied metals is lower than in other studied cultures.*

**Key words:** *Republic of Bashkortostan, heavy metals, soil contamination, mining industry*



## ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ ПОЧВ ПО ПАРАЗИТОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

**И.В. Хуторянина, Т.И. Твердохлебова**

ФБУН «Ростов НИИ микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора, Ростов-на-Дону,  
rochka12354@yandex.ru

**Аннотация.** Почва один из основных компонентов окружающей среды, который имеет большое значение в распространении паразитарных загрязнений. При этом необходимо оценивать интенсивность ее обсеменения яйцами гельминтов, видовой состав возбудителей и степень их жизнеспособности.

**Ключевые слова:** почва, паразитология, санитарно-паразитологический мониторинг, загрязнение.

Риск заражения и уровень заболеваемости населения паразитарными болезнями неразрывно связаны с экологической, в частности эколого – паразитологической, обстановкой на территориях, а также степенью обсемененности возбудителями паразитарных болезней объектов среды обитания человека [1]. Результаты санитарно – паразитологических исследований играют существенную роль в оценке активности эпидемического процесса при паразитарных болезнях, так как позволяют определить состояние одного из ключевых элементов паразитарной подсистемы этих заболеваний – механизма передачи заразного начала [2].

Почва, как фактор передачи паразитозов, остается одним из приоритетных звеньев механизма передачи геогельминтозов [3]. Существуют следующие пути поступления инвазионного начала в почвы: со сточными водами и их осадками, фекалиями, поверхностным стоком, водой поверхностных водоемов при поливе. Самоочищающая способность почв не обеспечивает полного освобождения от паразитарных агентов, так как некоторые из них могут сохранять жизнеспособность в данном субстрате до 10–15 лет. При благоприятных климатических условиях яйца геогельминтов развиваются и достигают инвазионной стадии, способствуя заражению человека и распространению паразитарных заболеваний.[4].

Целью данного исследования являлось определение контаминации почв паразитарными агентами. Объектом исследования были почвы Ростовской области и Республики Адыгеи, отобранные в разных функциональных зонах: жилой, рекреационной, детских учреждений и зоне максимального загрязнения (микроочагах геогельминтозов). Отбор образцов производился на глубине 0-20 см методом конверта, в соответствии с МУК 4.2.2661-10 «Методы санитарно-паразитологических исследований», МУ 2.1.7.2657-10 «Энтомологические методы исследования почвы населенных мест на наличие преимагинальных стадий синантропных мух».

По степени опасности в санитарно-эпидемиологическом отношении почвы населенных мест могут быть разделены на следующие категории по уровню загрязнения: чистая, допустимая, умеренно опасная, опасная и чрезвычайно опасная (таблица).

### Оценка степени эпидемической опасности почвы

Категория загрязнения почв	Яйца геогельминтов, экз/кг	Личинки – Л куколки – К мух, экз., в почве с площадью 20×20 см
Чистая	0	0
Умеренно опасная	до 10	Л до 10 К – отс.
Опасная	до 100	Л до 100 К до 10
Чрезвычайно опасная	> 100	Л > 100, К > 10

В Ростовской области доля положительных проб соответственно периоду наблюдений (2016–2017 гг.) была 20,0; 38,2%. Выявленные жизнеспособные патогены в положительных пробах позволили оценить их в соответствии с эпидемиологическими требованиями как не-

стандартные и составили 2,8; 0%. Интенсивность контаминации 5,0–15,0 экз/кг. Почвы по степени обсемененности яйцами гельминтов можно отнести к опасной. Результаты свидетельствуют о снижении показателей опасности почвы в отношении риска заражения населения геогельминтозами, так как в 2017 г. проб с жизнеспособными паразитарными агентами выявлено не было.

В Республике Адыгея установлены высокие показатели контаминации проб возбудителями гельминтозов. Доля положительных проб в 2016–2017 гг. составила: 30,7; 26,9%. Доля проб с жизнеспособными патогенами составила: 11,5; 15,4%. Почвы Республики Адыгея загрязнены паразитарными агентами в количестве от 5,0 до 15,0 экз/кг, но обсеменены практически все образцы. По степени контаминации яйцами гельминтов почвы относятся к опасным в эпидемиологическом отношении. Наблюдается тенденция увеличения проб с жизнеспособными патогенами. В данном случае наиболее выраженная возможность риска заражения населения паразитами, фактором передачи которых является почва.

Спектр выявляемых на всех территориях возбудителей паразитозов в почве был практически идентичен: яйца аскарид, токсокар, остриц. В Республике Адыгея кроме этого, выявляли яйца дикроцелиума.

Следует отметить, что зональная приуроченность наибольшей эпидемиологической значимости почвы при геогельминтозах и контактных гельминтозах определена в отношении территорий селитебных зон населенных пунктов, детских дошкольных учреждений. Пробы почвы, песка территорий ДОУ в 5,0% от числа всех исследованных были положительными. Также выявлен приоритет обнаружения в почве обследованных территорий яиц токсокар.

За весь период наблюдений в исследованных пробах почвы не было выявлено личинок и куколок синантропных мух ни на одной из обследованных территорий юга России.

Таким образом, почвы изученных территорий, расположенные в различных зонах характеризуются разной степенью обсемененности яйцами гельминтов.

Преобладание в исследованных образцах почв яиц токсокар свидетельствует о том, что основным источником инвазии являются животные.

Увеличения количества жизнеспособных паразитарных агентов некоторых территорий, может быть обусловлено подтоплением или переувлажнением почв.

В соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями почвы на юге России могут быть охарактеризованы как опасные по паразитологическим показателям, и чистыми по энтомологическим показателям.

### Литература

1. Хроменкова Е.П. и др. // Дальневосточный журнал инфекционной патологии. 2015. № 29. С. 87–89.
2. Хуторянина И.В., Хроменкова Е.П., Димидова Л.Л. Санитарно – паразитологический мониторинг за объектами окружающей среды г. Астрахани и прилегающих территорий // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2016. № 17. С. 500–502.
3. Димидова Л.Л., Хроменкова Е.П., Думбадзе О.С., Упырев А.В., Хуторянина И.В. Санитарно-эпидемиологическая оценка качества почвы по паразитологическим показателям // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2014. № 15. С. 87–90.
4. Димидова Л.Л., Хроменкова Е.П., Думбадзе О.С., Хуторянина И.В. Почва, как фактор поддержания риска заражения населения геогельминтозами // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2016. № 17. С. 155–157.

### CONTAMINATION OF SOILS BY PARASITOLOGICAL INDICATORS

I.V. Khutoryanina, T.I. Tverdohlebova

FBUN «Rostov Research Institute of Microbiology and Parasitology» of Rospotrebnadzor, Rostov-on-Don, rochka12354@yandex.ru

**Summary.** *The soil is one of the main components of the environment, which is of great importance in the spread of parasitic pollution. It is necessary to assess the intensity of its application of helminth eggs, the species composition of pathogens and the degree of their viability.*

**Keywords:** *soil, parasitology, sanitary – parasitological monitoring, pollution.*

## ПОСТПИРОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ ЯКУТИИ

А.П. Чевычелов, Л.И. Кузнецова

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, chev.soil@list.ru

**Аннотация.** *В равнинной части Якутии, лесной покров представлен редкостойными лиственничниками, а в горных районах – кедровостланиковыми сообществами, которые характеризуются высокой горимостью. В результате влияния сильных низовых лесных пожаров, активизирующих проявление экзогенных геоморфологических процессов, в трансаккумулятивных фациях ландшафтов формируются почвы с полициклическим профилем, содержащие, помимо современного, еще 2–3 погребенных гумусовых горизонта с включением черных древесных углей.*

**Ключевые слова:** *лесные пожары, мерзлотные почвы, изменение свойств и состава.*

Огонь в лесных районах распространения многолетней мерзлоты рассматривают как важный фактор, моделирующий поверхность и оказывающий влияние на геоморфологические процессы. Очевидно, с не меньшим основанием лесные пожары и вообще огонь следует включать в число важных факторов почвообразования, учет влияния которого обязателен при рассмотрении вопросов генезиса и географии лесных почв [1]. В связи с этим целью настоящей статьи являлось изучение природы лесных пожаров в Якутии и оценка их влияния на состояние почвенного покрова мерзлотно-таежной области.

Объектами исследования являлись мерзлотные типы почв Центральной и Южной Якутии, а именно: мерзлотная дерново-карбонатная выщелоченная (разр. 11-84) и мерзлотные палево-серые (разр. 1п-12 и разр. 2Ч-14), подверженные влиянию сильных низовых или подстильно-гумусовых лесных пожаров и в различной степени пирогенно-трансформированные. При проведении исследований использовали общепринятые почвенные методы: сравнительно-географический, профильно-генетический и сравнительно-аналитический [2, 3], при этом химический состав, а также свойства почв определяли по стандартным методикам, принятым в почвоведении [4]. Диагностику исследуемых почв проводили в соответствии с Классификацией... [5] и региональной классификацией мерзлотных почв Якутии [6].

За последние десятилетия среднетаежные леса Якутии претерпевают существенные нагрузки из-за частых лесных пожаров и увеличения, охватываемых пожарами территорий. Так, с 1990 по 2010 г. на всей территории республики зарегистрировано более 10 тыс. лесных пожаров на общей площади около 4,6 млн.га. За этот период ежегодно регистрировалось от 194 до 1169 возгораний на площади от 12,8 до 719,5 тыс. га. В среднем ежегодно на охраняемой территории происходило 610 лесных пожаров на площади более 310 тыс. га [7]. В климатическом сезонном цикле территории максимум недостатка насыщения водяного пара в июле совпадает по времени с сезонным максимумом грозовых явлений и наибольшей непрерывной продолжительностью гроз следствием чего является проявление сухих гроз, не сопровождаемых выпадением атмосферных осадков. Юг Якутии характеризуется максимальной частотой грозовых явлений, составляющей 15–18 дней в году, вследствие чего основным источником лесных пожаров здесь (в 75 % случаев) являются сухие грозы.

Биологический круговорот в лесах Южной Якутии характеризуется как мало- и среднепродуктивный, сильнозаторможенный, что приводит к накоплению значительного количества горючих материалов в виде мощных лесных подстилок, сухостоя и валежа. В составе напочвенных горючих материалов весьма значима доля мхов и, в особенности, лишайников, способных достигать состояния пожарной «спелости» уже на 2–3 день после очередного дождя. При этом на долю последних и ветоши, относимых по классификации Н.П. Курбатского (1964) к проводникам горения I группы, приходится 37–62% от общей массы напочвенных горючих материалов (табл. 1).

## Запасы и состав проводников горения в лесах Южной Якутии

Тип леса	Лишайники	Мхи	Ветошь	Подстилка	Всего
Сосняк бруснично-лишайниковый, 150 лет	$\frac{6,52^*}{44}$	$\frac{1,54}{10}$	$\frac{1,16}{8}$	$\frac{5,70}{38}$	$\frac{14,92}{100}$
Листвяг бруснично-лишайниковый, 140 лет	$\frac{9,68}{35}$	–	$\frac{3,16}{12}$	$\frac{14,50}{53}$	$\frac{27,34}{100}$
Сосняк с лиственницей толокнянко- во-лишайниковый, 165 лет	$\frac{1,62}{13}$	$\frac{0,46}{4}$	$\frac{2,54}{20}$	$\frac{7,80}{63}$	$\frac{12,42}{100}$
Листвяг с елью бруснично-моховой, 120 лет	$\frac{2,02}{5}$	$\frac{10,68}{25}$	$\frac{4,16}{10}$	$\frac{25,34}{60}$	$\frac{42,20}{100}$

\* Примечание. Числитель – т/га, знаменатель – %.

Постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв показаны нами на примере изменения показателей дерново-карбонатной выщелоченной почвы, имевших место в послепожарный период (1985–1992 гг.). Данная почва сформирована на территории Южной Якутии, на абсолютной высоте 590 м, в верхней части пологого склона юго-восточной экспозиции крутизной 5–10° под листвягом с кедром зеленомошно-кустарничковым. В 1992 г., через 7 лет после прохождения сильного низового пожара, по послепожарной зачистке разреза 11-84 был описан разрез 3-92А. В его морфологическом строении отмечены существенные от допожарного состояния изменения (табл. 2), сопровождаемые уменьшением мощности почвенного профиля (М) с 60 до 39 см. В частности, горизонт лесной подстилки А0 полностью выгорел, от гумусово-аккумулятивного горизонта А осталась только поверхностная пленка более минерализованного вторичного (послепожарного) гумусового горизонта. Уменьшилась также и мощность горизонта АВ, и в целом подгумусовой части почвенного профиля. Изменились также физико-химические показатели исследованного разреза. Так, более чем на единицу сдвинулось значение рН в щелочную сторону поверхностного горизонта А, при этом одновременно почти втрое уменьшилось содержание органического вещества.

Т а б л и ц а 2

## Изменение физико-химических свойств мерзлотной дерново-карбонатной выщелоченной почвы Южной Якутии в послепожарный период

Горизонт	Глубина, см	рН <sub>N2O</sub>	Гумус, %	Обменные катионы, смоль(экв)/кг почвы		Фракции, %		СО <sub>2</sub> карбо-натов, %
				Са <sup>+2</sup>	Мg <sup>+2</sup>	<0,001 мм	<0,01 мм	
До пожара, разрез 11-84								
А	0-9	6,1	31,5	53,5	17,8	–	–	Н.о.*
АВ	9-25	6,8	5,2	26,9	17,9	38,0	65,0	–/–
Вm	25-45	7,4	2,7	24,8	15,6	44,6	81,0	0,7
ВСса	45-60	7,7	1,2	–	–	41,5	77,0	2,2
После пожара, разрез 3-92 А								
А	0-2	7,3	9,4	33,4	35,7	–	–	Н.о.
АВ	2-11	6,8	5,1	22,1	16,8	32,4	63,4	–/–
Вm	11-27	7,2	2,4	26,8	13,2	49,0	83,2	0,8
ВСса	27-39	7,8	1,2	–	–	34,9	60,5	2,5

\* Здесь и далее: Н.о. – содержание не обнаружено.

В составе почвенно-поглощающего комплекса данного почвенного горизонта при общем незначительном изменении суммы обменных оснований почти в 1,5 раза уменьшилось содержание обменного кальция и в 2 раза увеличилось количество поглощенного магния [8].

Все выше отмеченные изменения свойств данной почвы, на наш взгляд, связаны с одновременным влиянием в послепожарный период следующих процессов: 1) прямого выгорания органического вещества поверхностных горизонтов; 2) поверхностного смыва почвенного мелкозема с оголенной поверхности почвы; 3) внутрипочвенного, в том числе и надмерзлот-

ного, выноса (криоэлювация) глинистых суспензий из переувлажненной почвы; 4) термопросадок почвенного мелкозема при разрушении и опускании уровня многолетней мерзлоты (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

**Изменение морфологических показателей мерзлотной дерново-карбонатной выщелоченной почвы Южной Якутии в послепожарной период**

Процесс	Горизонт	Потеря мощности	
		см	%
Выгорание ОВ	А	5,4	26
Поверхностный смыв мелкозема	А+АВ	5,8	28
Термопросадка мелкозема	А+АВ+В <sub>m</sub> +В <sub>сa</sub>	9,8	46
Суммарно	М <sub>1</sub> – М <sub>2</sub>	21	100

Итоговые результаты исследований послепожарных изменений свойств мерзлотной дерново-карбонатной выщелоченной почвы показали, что суммарное послепожарное уменьшение (на 21 см) мелкоземистой мощности данного почвенного разреза обусловлено в большей мере термопросадкой почвенного мелкозема и в меньшей мере – его поверхностным смывом и выгоранием (минерализацией) органогенной части почвенного профиля. При этом среднегодовая величина поверхностного смыва для исследованной почвы за семилетний послепожарный период составила 0,8 см почвенного слоя.

Также постпирогенные трансформации отмечались нами на примере мерзлотной палевой серой почвы Центральной Якутии, сформированной в нижней части склона местного водораздела. В послепожарный период вследствие уничтожения лесного растительного покрова, увеличения глубины сезонного протаивания мерзлотных почв, произошло интенсивное развитие экзогенных геоморфологических процессов (термоэрозия, солифлюкция, поверхностный смыв). Вследствие этого почва разр. 1п-12 оказалась сверху погребена слоем слабощелочного (табл. 4), супесчано-легкосуглинистого гравелистого и уплотненного делювия мощностью 72 см.

Т а б л и ц а 4

**Химические свойства и физико-химические показатели мерзлотных палевых серых почв**

Глубина, см	рН		Гумус, %	Обменные катионы, смоль(экв)/кг почвы			
	H <sub>2</sub> O	KCl		Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	H <sup>+</sup>	Сумма
Палевая серая пирогенно-трансформированная, разрез 1п-12							
0-20	8,0	6,8	3,4	11,3	6,1	Н.о.*	17,4
20-40	8,2	7,4	2,9	21,2	5,3	- //-	26,5
40-60	8,0	7,3	2,9	24,6	7,8	- //-	32,4
60-80	6,0	5,5	6,3	24,5	9,8	0,3	34,6
80-100	6,2	5,5	2,1	8,7	4,4	0,2	13,3
Палевая серая, разрез 2п-12							
0-20	7,2	6,3	9,5	28,6	8,7	0,2	37,5
20-40	8,0	7,2	7,9	33,0	7,8	Н.о.	40,8
40-60	8,0	7,3	4,0	28,0	6,2	- //-	34,2
60-80	7,8	6,8	1,1	18,1	9,6	- //-	27,7
80-100	7,8	6,9	1,1	15,5	7,2	- //-	22,7

Нижерасположенные погребенные гумусовый (гор. А) и подгумусовый (гор. АВ) горизонты первичной почвы хорошо выявляются здесь по увеличению содержания гумуса (до 6,3%), уменьшению значений рН (до 6,0 – 6,2), а также содержания частиц физической глины и ила на глубине 60–100 см данной почвы. Так, если в слое 0–40 см палевой серой почвы разр. 2п-12 естественного ландшафта содержание частиц физической глины составляло 23,0–29,9%, то в данном погребенном слое на глубине 60–100 см палевой пирогенно-

трансформированной почвы разр. 1п-12 только 15,1–20,6%, т.е. произошло изменение гранулометрического состава данного слоя этой почвы с легкосуглинистого до супесчаного. При этом также в данном слое почвы происходит уменьшение содержания гумуса с 7,9–9,5% до 2,1–6,3%, т.е. снижение в среднем в 2,1 раза.

В трансаккумулятивных фациях мерзлотных ландшафтов Центральной и Южной Якутии формируются почвы с полициклическим профилем, содержащие помимо современного еще 2-3 погребенных гумусовых горизонта с обильным включением черных древесных углей (табл. 5). Последнее указывает на то, что за период своего развития данные почвы прошли 2–3 цикла зонального почвообразования.

Т а б л и ц а 5

**Химические свойства и физико-химические показатели мерзлотной палевой почвы**

Горизонт	Глубина, см	рН водн.	Гумус, %	Азот, %	С:N	Обменные катионы, смоль(экв)/кг почвы		
						Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Сумма
Палевая серая, разрез 2Ч-14								
A	4-14	6,7	5,6	0,28	20	23,4	7,4	30,8
BC	18-28	6,7	0,6	0,04	15	8,4	1,4	9,8
[A]	31-40	7,2	3,1	0,12	26	20,8	6,9	27,7
[BC]	31-40	7,5	0,8	0,03	27	8,2	2,7	10,9
[A]	40-50	7,5	3,2	0,13	25	20,5	4,7	25,2
[BC]	55-65	7,9	0,5	0,02	25	7,9	1,4	9,3
[A]	70-130	7,8	5,5	0,26	21	30,5	6,6	37,1
[BC]	70-130	8,3	0,8	0,03	27	10,9	2,2	13,1
C	140-150	8,3	0,1	0,02	5	9,2	1,3	10,5

Такие погребенные гумусовые горизонты, отмечаемые в морфологическом строении изучаемой палевой серой пирогенно-трансформированной почвы, характеризуются фульватно-гуматным и гуматным типом гумуса (табл. 6), в них также отмечается увеличение содержания валовых оксидов Ca, Mg и Fe, гумуса и азота, мелкодисперсных фракций физической глины и ила, а также обменных оснований Ca<sup>+2</sup> и Mg<sup>+2</sup> относительно сопряженных минеральных горизонтов почвенного профиля [9].

Т а б л и ц а 6

**Состав гумуса, % к общему С почвы**

Горизонт	Глубина, см	Гуминовые кислоты (ГК)				Фульвокислоты (ФК)					НО*	Сг.к./Сф.к.
		ГК-1	ГК-2	ГК-3	Сумма	ФК-1а	ФК-1	ФК-2	ФК-3	Сумма		
Палевая серая, разрез 2Ч-14												
Ad	0-2	9,8	10,3	9,7	29,8	3,0	11,0	8,1	5,8	27,9	42,3	1,1
A	4-14	14,0	26,1	9,7	49,8	3,6	5,8	5,5	3,9	18,8	31,4	2,6
BC	18-28	7,9	5,3	0	13,2	7,9	5,3	10,5	15,8	39,5	47,3	0,3
[A]	31-40	15,4	34,1	9,3	58,8	7,1	8,2	9,3	6,0	30,6	10,6	1,9
[BC]	31-40	12,2	10,2	0	22,4	12,2	6,1	10,2	12,2	40,7	36,9	0,5
[A]	40-50	9,1	28,5	8,1	45,7	7,5	2,7	5,9	1,6	17,7	36,6	2,6
[BC]	55-65	7,4	11,1	0	18,5	14,8	0	14,8	18,5	48,1	33,4	0,4
[A]	70-130	13,4	33,9	5,6	52,9	8,1	3,4	7,2	1,9	20,6	26,5	2,6
[BC]	70-130	11,5	3,2	7,3	22,0	20,1	3,9	14,7	23,3	62,0	16,0	0,3
C	140-150	0	20,0	0	20,0	20,0	0	36,0	12,0	68,0	12,0	0,3

\*Н.о. – негидролизуемый остаток.

**Выводы:**

1. Ландшафтно-климатические условия Якутии способствуют высокочастотному и широкомасштабному распространению здесь природных лесных пожаров. Низовые или подстильно-гумусовые пожары приводят к активизации экзогенных геоморфологических процессов и оказывают решающее значение на формирование особенностей свойств, состава и режимов мерзлотных лесных почв.

2. В трансаккумулятивных фациях ландшафтов Центральной и Южной Якутии формируются почвы с полициклическим профилем, содержащие помимо современного еще 2-3 погребенных гумусовых горизонта с обильным включением черных древесных углей. Последнее указывает на то, что за период своего развития данные почвы прошли 2-3 цикла зонального почвообразования.

3. Данные погребенные пирогенные гумусовые горизонты характеризуются повышенным содержанием гумуса и азота, обменных оснований  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , а также фракций крупной пыли, физической глины и ила по сравнению со смежными минеральными горизонтами почвенного профиля. При пирогенном воздействии в этих горизонтах происходит изменение типа гумуса, обусловленное накоплением здесь ГК 1 и 2.

### Литература

1. Арефьева З.Н., Колесников Б.П. Динамика аммиачного и нитратного азота в лесных почвах Зауралья при высоких и низких температурах // Почвоведение. 1964. № 3. С. 30-46.
2. Роде А.А. Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука, 1971. 93 с.
3. Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Изд-во МГУ, 1983. 320 с.
4. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 480 с.
5. Классификация и диагностика почв СССР. М.: «Колос», 1977. 224 с.
6. Еловская Л.Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. 172 с.
7. Протопопова В.В. Местная шкала пожарной опасности лесов по условиям погоды для Центральной Якутии // Наука и образование. 2011. № 2. С. 74-77.
8. Чевычелов А.П. Пирогенез и постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв // Сиб. экол. журн. 2002. № 3. С. 273-277.
9. Чевычелов А.П., Шахматова Е.Ю. Постпирогенные полициклические почвы в лесах Якутии и Забайкалья // Почвоведение. 2018. № 2. С. 243-252.

### POSTPYROGENIC CHANGES OF THE FROZEN SOILS OF YAKUTIA

A.P. Chevychelov, L.I. Kuznetsova

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, chev.soil@list.ru

**Summary.** *Forests of the plain part of the Yakutia are primarily represented by larch woodlands, while mountainous part is represented by Siberian dwarf pine communities, which are characterized by high frequency of wildfires. As the result of severe creeping fires that activate exogenous geomorphological processes, soils with polycyclic profiles are formed on trans-accumulative landscape facies, which besides modern horizon also contain 2-3 buried humus horizons with inclusion of black charcoals.*

**Keywords:** *forest wildfires, frozen soils, changes of properties and composition.*

## ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОРИЧНЕВЫХ ПОЧВ ЗАПОВЕДНИКА УТРИШ

М.П. Черникова, К.Ш. Казеев

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Bordjiam@mail.ru

**Аннотация.** Почвенный покров охраняемых территорий является системой эталонных и редких почв. Почвы заповедников имеют особое значение, выступая в качестве объектов экологического мониторинга. Исследования почвенного покрова на территории заповедника «Утриш» ведутся с 2012 года. В результате установлен ряд особенностей распространения и свойств коричневых типов почв заповедника.

**Ключевые слова:** заповедник Утриш, почвенный покров, коричневые почвы.

Почвенный покров заповедных территорий является важным компонентом охраняемых ландшафтов, представляя собой систему эталонных и редких почв. При этом, почвы природных малоизмененных экосистем в заповедниках, выступая в роли фона и эталонов, приобретают особое значение в качестве объектов мониторинга. Несмотря на важность проведения исследований в этом направлении, почвы заповедных территорий изучены слабо. Современные подробные сведения о состоянии почвенного покрова отсутствуют во многих заповедниках, в том числе и в государственном природном заповеднике «Утриш».

Своеобразное физико-географическое расположение заповедника «Утриш» обуславливает наличие на его территории уникальных ландшафтно-флористических природных комплексов с эндемичными представителями флоры и фауны и широким спектром малоизученных почв. Заповедник, получивший свой статус в 2010 году, расположен на территории, относящейся к самой западной части Северо-Черноморской провинции Большого Кавказа. Общая площадь охраняемой территории, включающая в себя земли лесного и водного фонда, составляет более 10 тысяч гектаров.

Заповедник находится в зоне высокой новейшей и современной геодинамической активности тектонических структур Северо-Западного Кавказа, усложняющей его ландшафтный состав. Здесь широко распространены сейсмогравитационные деформации, в значительной мере влияющие и на почвы [1].

Утришские ландшафты с ксерофитными субсредиземноморскими сообществами и мезофитными широколиственными лесами формируются на субширотно простирающихся низкогорных хребтах, расчлененных узкими и глубокими щелями на ряд второстепенных гряд. Хребты сложены преимущественно мел-палеогеновым флишем с переслаиванием аргиллитов, алевролитов, песчаников, мергелей и известняков [2].

Как следствие, сложный рельеф с резкими перепадами высот вызывает многообразие проявлений различных условий почвообразования на горной территории, влекущих за собой повышенную контрастность и изменчивость почвенного покрова, сложный характер его дифференциации и развитие неоднородностей [3, 4].

Особую роль в почвообразующих процессах на территории заповедника играет господствующий переходный тип климата между морским средиземноморским и умеренно-континентальным. Среднегодовая температура воздуха в этом районе составляет порядка +12,2 °С, средняя температура июля +23,5 °С, января +3 °С. Среднегодовая величина осадков находится в пределах 570–700 мм, большая часть из которых выпадает с ноября по март [5].

Активные полевые и лабораторно-аналитические исследования, основной целью которых является подробное изучение почв государственного природного заповедника «Утриш», ведутся ежегодно с 2012 года.

Исследовательская работа осуществляется согласно общепринятым в почвоведении и биологии методам [6, 7]. Наряду с морфологическим описанием проводится анализ ряда показателей, среди которых – температура, влажность, гранулометрический состав, емкость катионного обмена, валовой химический состав, содержание карбонатов кальция и легкорас-



творимых солей, рН, содержание органического вещества, активность ферментов: каталазы, дегидрогеназы, инвертазы, дыхание почв и другие.

На основе более 300 разрезов и прикопок, заложенных с учетом разнообразия элементов рельефа и характера растительности, проанализированных образцов, почвенное разнообразие заповедника частично охарактеризовано в ряде ранее опубликованных материалов [8-11].

Проведенные исследования на заповедной территории показали преобладание коричневых типов почв десятков разновидностей всех трех подтипов – выщелоченной, карбонатной и типичной (перечислены в порядке убывания распространения). Их разнообразие, а также варьирование в показателях биологической активности, обусловлено множеством факторов, первостепенное значение среди которых имеют: различные варианты экспозиции и крутизны склонов, микроклимата, разная степень проявления эрозионных процессов, щебенчатости, каменистости, всякого рода антропогенные вмешательства.

Подавляющая часть коричневых почв заповедника имеет короткий почвенный профиль, камениста, щебенчата. Гранулометрический состав, как правило, суглинистый, от легкосуглинистого до тяжелого суглинка, в зависимости от содержания в почве щебня и степени его выветренности. Реакция среды близка к нейтральным значениям.

Коричневые типичные почвы развиты на элювии мергелей и встречаются в верхней части пологих склонов северо-восточной части заповедника выше 240 м над уровнем моря. В сочетании с другими типами почв встречаются также в юго-восточной и северной частях. В отличие от карбонатных и выщелоченных коричневых почв заповедника они имеют более мощный гумусовый профиль – до 60 см, слабокаменисты и в средней части профиля содержат карбонаты.

Коричневые карбонатные почвы распространены на нижних частях склонов в северной и восточной частях заповедника, а также на западе в непосредственной близости от моря на высотах до 100 м над уровнем моря.

Коричневые выщелоченные почвы, встречающиеся чаще всего на территории заповедника, формируются преимущественно в увлажненных местах на некарбонатных плотных породах или элювии окаربонатенных песчаников на высотах больше 200-250 м над уровнем моря. В южной части на прибрежной территории они расположены на высотах ниже 100 м. Их профиль освобожден от карбонатов кальция.

Исследованные коричневые типы почв характеризуются относительно однородным валовым химическим составом с невысокой степенью контрастности и относятся к сиаллитным ( $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3 > 2,5$ ). Почвенный профиль для некарбонатных почв монотонный, обогащен кремнеземом с увеличением его содержания в нижележащих горизонтах. В карбонатных почвах повышено содержание кальция, происходящее на фоне снижения содержания кремния. Содержание общего алюминия и железа меняется в узких пределах, при этом валовый алюминий преобладает над железом. Молекулярные отношения кремнезема к полуторным оксидам высоки (не менее 11).

У типичной и карбонатной почвы наблюдается сдвиг рН в слабощелочную сторону. Емкость катионного обмена в ненарушенных типах коричневых почв высока, в среднем, не опускаясь ниже значений 45 ммоль/кг.

Биологические свойства почв заповедника отличаются высокими значениями.

Содержание органического вещества в исследуемых почвах наиболее высоко в поверхностных горизонтах и нередко достигает 10 %. Профильное распределение в почвенной толще постепенно убывающее. Нижние горизонты малогумусны – 2-4%. В смытых и нарушенных аналогах почв значения заметно ниже.

Результаты исследования ферментативной активности большинства ненарушенных коричневых почв заповедника, согласно шкалам для оценки степени обогащенности ферментами [12], позволяют охарактеризовать их в качестве богатых. Тем не менее, четкая дифференциации активности того или иного фермента с определенным подтипом коричневых почв не наблюдается. В смытых, нарушенных вариантах почв ферментативная активность значительно ниже.

На данный момент, несмотря на встречающиеся сопряженные изменения, тесной связи между почвами и современными растительными сообществами заповедника не выявлено.

Структура почвенного покрова заповедника «Утриш» является сложной и поликомбинационной. В целом, на данном этапе исследований, прямой зависимости дифференциации коричневатых почв изучаемой охраняемой территории и их эколого-биологических свойств от того или иного фактора не доказано.

Продолжающийся систематический сбор данных о свойствах почв заповедника позволит использовать их для системного и многофакторного анализа, обнаружения общих закономерностей и особенностей, получения количественных оценок связи между компонентами почвы и другими составляющими экосистемы.

*Исследования выполнены при государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-9072.2016.11).*

### Литература

1. Попков В.А., Крицкая О.Ю., Остапенко А.А., Быхалова О.Н. Результаты изучения палеосейсмических деформаций и оползневых процессов на территории государственного природного заповедника "Утриш" (Северо-Западный Кавказ) // Геология, география и глобальная энергия. 2015. № 3 (58). С. 101-114.
2. Петрушина М.Н., Мерекалова К.А. Ландшафтная структура заповедника «Утриш» // Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития: Материалы XII Международной ландшафтной конференции, Тюмень – Тобольск, 22-25 августа. Тюмень: Изд-во ТГУ. 2017. С. 223-228.
3. Молчанов Э.Н. К проблеме почвенно-географического районирования горной части Северного Кавказа // Почвоведение. 1991. № 1. С. 5-18.
4. Владыченский А.С. Особенности горного почвообразования. М.: Наука, 1998. 190 с.
5. Ткаченко Ю.Ю., Денисов В.И. Особенности местного климата территории заповедника «Утриш» // Охрана биоты в государственном природном заповеднике «Утриш». Научные труды. Том 3. 2014. Майкоп: ООО «Полиграф-ЮГ». 2015 г. С. 8-17.
6. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета. 2016. 356 с.
7. Гаврилюк Ф.Я. Полевые исследования и картирование почв. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ. 1990. 224 с.
8. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Магомедов М.А., Черникова М.П. Рекогносцировочные исследования почвенного покрова заповедника "Утриш" // Актуальные вопросы экологии и природопользования: Материалы научной конференции сотрудников, студентов и аспирантов кафедры экологии и природопользования ЮФУ. 2012. С. 41-46.
9. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Быхалова О.Н., Черникова М.П., Янкина К.О. Эколого-биологические особенности почв ГПЗ "Утриш" // Сборник трудов Академии биологии и биотехнологии: К 100-летию Южного федерального университета и 80-летию Академии биологии и биотехнологии. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ. 2014. С. 71-77.
10. Казеев К.Ш., Черникова М.П., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Козунь Ю.С., Полуванова В.С., Быхалова О.Н. Биологическая диагностика экологического состояния почв мониторинговых площадок заповедника "Утриш" // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2016. № 1 (189). С. 61-65.
11. Казеев К.Ш., Черникова М.П., Колесников С.И., Быхалова О.Н. Почвенный покров заповедника "Утриш". Ростов-на-Дону. 2015. 104 с.
12. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. №6. С. 48-54.

### ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF BROWN SOILS OF THE UTRISH RESERVE

M.P. Chernikova, K.Sh. Kazeev

Southern Federal University, Rostov-on-don, Bordjiam@mail.ru

**Summary.** *The soil cover of the protect areas is a system of reference and rare soils in the Utrish reserve. Soil reserves are of particular importance, acting as objects of environmental monitoring. Soil cover studies on the territory of the "Utrish" reserve has been conducted since 2012. As a result, some peculiarities of distribution and properties of brown soil types of the reserve are established.*

**Keywords:** *Utrish reserve, soil cover, brown soil.*

## ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ И ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОРНЯ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ МЕДИ

Н.П. Черникова<sup>1</sup>, А.Г. Федоренко<sup>2</sup>, С.С. Манджиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, nat.tchernikova2013@yandex.ru

<sup>2</sup> Южный научный центр российской академии наук, Ростов-на-Дону, afedorenko@mail.ru

**Аннотация.** *Исследовано влияние меди на морфобиометрию и ультраструктуру клеток корня ячменя. Hordeum sativum distichum выращивали в пластиковых горшках, заполненных 2 кг почвы в двух вариантах – контроль и загрязненная 10000 мг/кг Cu(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>. На 45 день проводили отбор образцов для получения морфобиометрических данных и приготовление препаратов тканей растения для исследования ультраструктуры клеток корня на светооптическом и просвечивающем электронном микроскопе. В результате установили, что влияние меди вызвало угнетение роста всех частей растения, изменение на тканевом и клеточном уровнях. В тканевых структурах наблюдаются: деградация эпидермиса и эндодермального слоя, значительное увеличение размеров клеток кортикального слоя, существенное уменьшение диаметра центрального цилиндра и нарушение структуры его исходных клеток. На клеточном уровне отмечаются ультраструктурные изменения, такие как повышение электронной плотности цитоплазмы, увеличение размеров липидных образований, разрывы стенки некоторых клеток экзодермы.*

**Ключевые слова:** *влияние меди, структура тканей, ультраструктура клеток ярового ячменя.*

Среди многочисленных загрязнителей окружающей среды особое место занимают тяжелые металлы. Их опасность заключается в кумулятивных действиях и сохранении токсических свойств в течение длительного времени. Медь (Cu) – один из наиболее опасных элементов, а также важнейших микроэлементов. Физиологическая активность Cu связана с включением ее в состав активных центров окислительно-восстановительных ферментов, участием в процессе фотосинтеза и усвоением азота растениями. Недостаточное содержание Cu отрицательно влияет на синтез белков, жиров и витаминов у растительных организмов, а избыточные концентрации оказывают негативное влияние на рост, развитие и продуктивность [1].

Активно исследуются поглощение, транспорт и аккумуляция тяжелых металлов в тканях и органах растений, их влияние на основные физиологические процессы (рост, развитие, фотосинтез, водный обмен, минеральное питание), а также механизмы металлоустойчивости растений [2 – 4]. Анализ литературных данных указывают на наличие достаточно хорошо выраженной дозовой зависимости между содержанием ТМ в субстрате и отдельными ростовыми показателями. Однако в большинстве случаев подобные исследования проводятся с растениями, находящимися в фазе проростков, более поздние фазы развития не рассматриваются. Существует мало данных, объясняющих воздействие тяжелых металлов на клеточное деление и ультраструктуру клетки в целом.

Целью данной работы является изучение содержания и распределения Cu в органах, тканях и клетках ярового ячменя (*Hordeum sativum distichum*), морфометрические параметры растений, изменения в корнях на гистологическом и цитологическом уровнях под влиянием высокой дозы ацетата меди (Cu(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>) в фазе созревания ячменя.

**Объекты и методы исследования.** Для изучения токсичности Cu на морфобиометрию и ультраструктуру клеток корня ячменя была взята почва из Ростовской области, характеризующаяся как чернозем обыкновенный карбонатный. Почву отобрали из поверхностного слоя (0–20 см), высушивали на воздухе и просеивали через сито 5 мм. Эксперимент проводился в пластиковых горшках с хорошей дренажной системой, каждый из которых был заполнен 2 кг почвы. В качестве контрольного образца использовали чернозем обыкновенный карбонатный, а в качестве экспериментального – чернозем обыкновенный карбонатный с искусственным загрязнением в дозе 10000 мг/кг Cu(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>. Семена *Hordeum sativum distichum* высевали спустя месяц после внесения ацетата меди, при вегетативном росте растений поддерживали наименьшую полевую влагоемкость (до 60 % от полной полевой влаго-

емкости). Проведение эксперимента и процедура отбора проб проводились в соответствии со стандартной методикой [5].

Яровой ячмень был отобран в фазе выхода в трубку. Подготовка образцов тканей растений для просвечивающей электронной микроскопии (ТЭМ) осуществлялась по стандартной методике [6]. Для исследования выделяли кусочки корня растения *Hordeum sativum distichum* размером около 1 мм. Материал фиксировали 2,5 % раствором глутаральдегида на фосфатном буфере (PBS) в течение одного часа при температуре 20-22 °С. После отмывки в PBS проводилась дофиксация 1 % раствором осмиевой кислоты в PBS в течение 120 минут при комнатной температуре. Дегидратацию проводили в спиртах возрастающей концентрации от 30 до 100 °С и абсолютном ацетоне. В процессе дегидратации образцы для удобства наблюдения помещали в плоские капсулы и заливали эпоксидной смолой. После полимеризации из полученных блоков изготавливали ультратонкие срезы на микротоме Leica EMUC6 (Leica, FRG), которые дополнительно контрастировали в цитрате свинца. Срезы изучали и фотографировали на просвечивающем электронном микроскопе Tecnai Spirit G2 (Philips, Голландия). Для светооптических наблюдений полутонкие срезы (толщиной около 1 мкм) дополнительно окрашивали 1 % раствором толуидинового синего [7] и исследовали на микроскопе Микомед-6.

**Результаты исследований.** Присутствие высокой дозы Cu в почве способствовало замедленному онтогенетическому развитию растений, изменению их морфометрических параметров. По сравнению с ячменем, отобранным на незагрязненном варианте (контроль), было зафиксировано уменьшение длины главного корня и количества боковых корней, отмирание корневых волосков, снижение биомассы корня. Это связано с тем, что корни являются первым барьером на пути поступления металла из почвы в растение, и именно корень берет на себя основную функцию по его аккумуляции и детоксикации [1]. Отмеченные изменения в корневой системе приводят к снижению поглощения питательных веществ и воды, что негативно отражается на росте и развитии всего растения

Токсичное действие меди проявляется также в угнетении надземной части растения, хотя и в меньшей степени, чем корней. Уменьшается высота побега, снижается площадь листовой пластинки. Отдельно необходимо отметить действие тяжелых металлов на рост листа, поскольку лист является основным специализированным органом фотосинтеза [8]. Было обнаружено уменьшение длины, ширины и площади листовой пластинки растений ярового ячменя 1-го и последующих (2-го и 3-го) листьев. Это является одной из причин снижения интенсивности процесса фотосинтеза.

Светооптические наблюдения корня ячменя показали, что накопление меди вызвало уменьшение длины и количества корневых волосков, деграцию эпидермиса и эндодермального слоя, появление в межклеточном пространстве темных (оптически плотных) образований. Отмечено значительное увеличение размеров клеток экзодермы и мезодермы и существенное уменьшение диаметра центрального цилиндра, нарушение структуры его клеток. А именно, увеличение размеров клеток флоэмы, но уменьшение их количества, увеличение количества клеток ксилемы (рис. 1).

Электронно-микроскопический анализ показал, что корни имели нормальные ультраструктурные характеристики в клетках контроля, с неповрежденными клеточными стенками, вакуолью, эндоплазматическим ретикулумом, рибосомами, митохондриями, а также липидными каплями и ядром. Под воздействием Cu наблюдались существенные ультраструктурные изменения, в том числе, повышение электронной плотности цитоплазмы, увеличение размеров и количества липидных образований, разрывы стенки некоторых клеток экзодермы. Отмеченные отложения электронно-плотного материала на мембранах цитоплазмы и клеточной оболочке, по-видимому, являются отложениями Cu (рис. 2).

Внесение 10000 мг/кг  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  вызвало изменения на визуальном, тканевом и клеточном уровнях. Тяжелые металлы являются неспецифически действующими на рост корня веществами, токсичность которых зависит от способности связывания ионов металлов с сульфгидрильными группами белков и ферментов, ответственных за прохождение митоза, в

результате чего данные белки теряют свою активность. Угнетение корневой системы приводят к снижению поглощения питательных веществ и воды. Уменьшение надземной части растения снижает интенсивность процесса фотосинтеза.

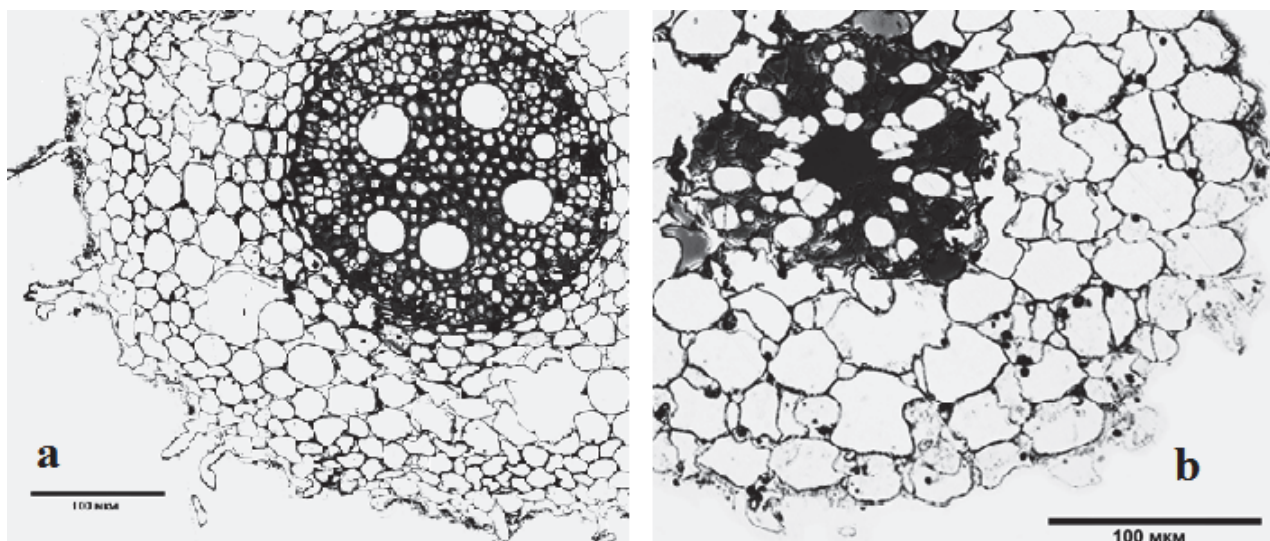


Рис. 1. Поперечный срез корня *Hordeum sativum distichum*: а – контроль, б – опыт

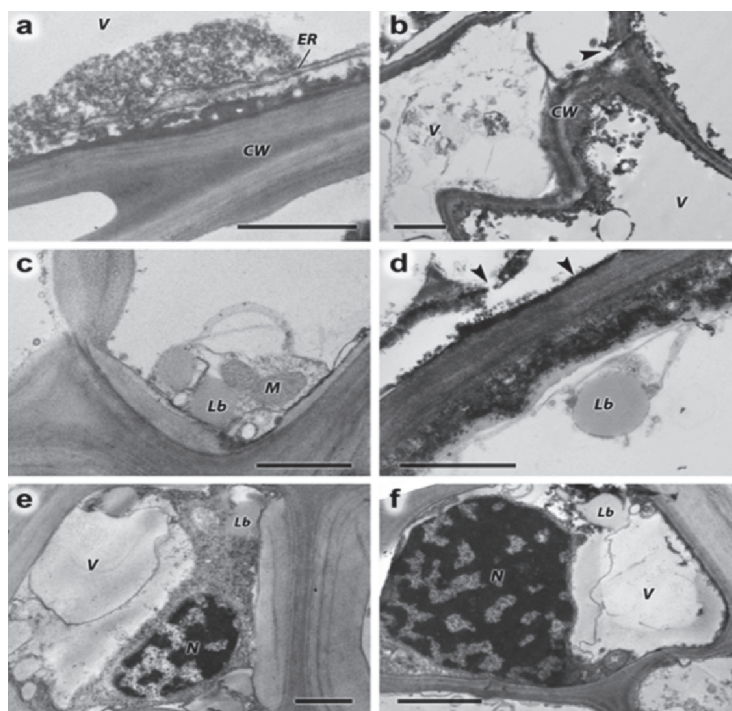


Рис. 2. Ультраструктурные изменения клеток мезодермы. а, с, е – контроль; б, d, f – опыт.

CW – клеточная стенка, V – вакуоль, ER – эндоплазматический ретикулум,

Lb –липидная капля, N – ядро, M – митохондрия

Прямое проникновение Си в корень ярового ячменя приводит к изменению в тканевых структурах. А именно – деградации эпидермиса и эндодермального слоя, значительному увеличению размеров клеток кортикального слоя, существенному уменьшению диаметра центрального цилиндра и нарушению структуры его исходных клеток.

Связывание ионов тяжелых металлов клеточными стенками корня позволяет снизить их проникновение из почвенного раствора в цитоплазму. Имобилизация в клеточной стенке ионов тяжелых металлов является одним из важнейших процессов, влияющих на устойчивость растений к их избытку. Отмеченные отложения ионов Си адсорбируются клеточной

стенкой и накапливаются в ней, а также осаждаются на ее поверхности в виде гранул. Однако в случае действия на растения высокой концентрации, клеточная стенка достигает своеобразного «насыщения», ее барьерные функции нарушаются, теряется способность защитить клетку от токсического действия металла. Попадание меди в клетку вызывает ультраструктурные повреждения в клеточной мембране, цитоплазме, эндодерме, митохондриях и вакуолях.

### Литература

1. Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М. Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам: учебное пособие; Институт биологии КарНЦ РАН. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. 77 с.
2. Серегин И.В., Иванов В.Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. 2001. Т. 48, № 4. С. 606–630.
3. Clemens S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis // *Planta*. 2001. V. 212. P. 475–486.
4. Hall J.L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance// *J. Exp. Bot.* 2002. V. 53, N 366. P. 1–11.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию, 2012. – 349 с.
6. Усатов А.В., Федоренко Г.М., Щербаклова Л.Б., Машкина Е.В. Ультраструктура хлоропластов горчицы *Brassica Juncea* как показатель солерезистентности // *Цитология*. 2004. Т. 46, № 12. С. 1035–1042.
7. О'Брайен Т.П., Федер Н., Маккалли М.Е. Полихромное окрашивание стенки растительных клеток толудиновым синим. 1964.
8. Мокронос А.Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза. М.: Наука, 1981. 196 с.

### HISTOLOGIC AND CYTOLOGIC CHANGES OF THE ROOT OF SUMMER BARLEY UNDER THE INFLUENCE OF COPPER

N.P. Chernikova<sup>1</sup>, A.G. Fedorenko<sup>2</sup>, S.S. Mandzhieva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Southern Federal University, Rostov-on-Don, nat.tchernikova2013@yandex.ru

<sup>2</sup> Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, afedorenko@mail.ru

**Summary.** *The influence of copper on morphobiology and the ultrastructure of root cells of barley. The *Hordeum sativum distichum* was grown in plastic pots filled with 2 kg of soil in two variants-control and contaminated with 10 000 mg/kg Cu(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>. 45 day performed sampling to obtain orthobiotech data and the preparation of drugs of plant tissues to study the ultrastructure of the cells of the root in light-optical and transmission electron microscope. As a result, it was found that the influence of copper caused inhibition of growth of all parts of the plant, changes in tissue and cellular levels. In tissue structures, degradation of the epidermis and endodermal layer, a significant increase in the size of the cortical layer cells, a significant decrease in the diameter of the Central cylinder and a violation of the structure of its original cells. At the cellular level, there are ultrastructural changes, such as an increase in the electron density of the cytoplasm, an increase in the size of lipid formations, wall breaks of some exoderm cells.*

**Keywords:** *influence of copper, tissue structure, ultrastructure of spring barley cells.*

## ЧИСЛЕННОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ В ЦЕЛИННЫХ ПОЧВАХ ТРОПИЧЕСКИХ ЛЕСОВ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА

Т.И. Чернов, А.К. Тхакахова, А.К. Железова, Н.А. Бгажба

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия, Москва, chern-off@mail.ru

**Аннотация.** *Исследована численность бактерий, архей и грибов в почвах южного Вьетнама при помощи анализа препаратов тотальной ДНК из почвы. Показано, что численность микроорганизмов в тропических почвах под первичными лесами достаточно высока, и сравнима с наиболее богатыми почвами умеренной зоны. Вулканические почвы обладают более богатыми микробными сообществами, чем красно-желтые тропические и аллювиальные.*

**Ключевые слова:** *тропики, красноземы, вулканические почвы, ДНК, ПЦР, бактерии, археи, грибы.*

Тропические экосистемы – важные элементы биосферы, поддерживающие высокое биоразнообразие и биологическую продуктивность. При этом разнообразие микробных сообществ тропических почв исследованы достаточно слабо. Все еще не ясно, как различаются численность и разнообразие микроорганизмов в различных тропических почвах и насколько они отличаются от численности и разнообразия микробиоты почв умеренного пояса. Учитывая интенсивное сокращение площади тропических лесов, остается все меньше времени для исследования их исходного микробного разнообразия.

Согласно некоторым оценкам, разнообразие микроорганизмов в тропических почвах в целом не выше, чем в почвах других широтных зон [1], при этом бета-разнообразие (т.е. пространственная неоднородность структуры микробных сообществ) может быть достаточно высоким [2]. Однако большинство работ по микробиологии тропических почв касается в разной степени нарушенных экосистем – агроценозов, вторичных лесов и травянистых ассоциаций, а исследования почв первичных тропических лесов немногочисленны.

Площадкой данного исследования являлся национальный парк Кат Тьен (южный Вьетнам), на территории которого распространены первичные муссонные леса, слабонарушенные человеком. Для заповедника Кат Тьен показано высокое разнообразие и обилие почвенной мезофауны [3], А.В. Александровой с соавторами показано достаточно высокое разнообразие культивируемых почвенных грибов с абсолютным доминированием анаморф аскомицетов, выявлены существенные различия в видовом составе почвенных грибов аллювиальных и ферраллитных почв, а также почв под равнинными и горными лесами [4, 5, 6]. Разнообразие культивируемых актиномицетов в почвах и растительном опаде, оцененное в пяти различных локусах на территории Вьетнама, практически не различается [7], при этом численность актиномицетов в почвах южного Вьетнама оценивается достаточно высоко. Оценка общей численности и разнообразия почвенных бактерий (в том числе молекулярно-биологическими методами) для данной территории, по всей видимости, не проводилась.

Почвенный покров заповедника Кат Тьен был проанализирован коллективом авторов на основе опорных разрезов [8]. Выделено несколько доминирующих типов почв, ареалы которых зависят прежде всего от почвообразующих пород и положения в рельефе: красно-желтые тропические глинистые (бедные питательными веществами, с низким рН) на грядах, сложенных метаморфическими сланцами; бурые тропические глинистые (Cambisol) и темно-гумусовые глинистые (Umbrisol) на вулканических отложениях; а также суглинистые или супесчаные аллювиальные почвы на речном аллювии. Для данных почв определен ряд важнейших почвенных свойств (рН, содержание углерода и азота и др.)

Целью данной работы являлась оценка численности основных групп микроорганизмов (архей, бактерий и грибов) и изменения их численности по профилям основных типов почв под слабонарушенными тропическими лесами заповедника Кат Тьен.

Объектами исследования являлись образцы почв из опорных разрезов, описанных О.С. Хохловой с соавторами [8]: аллювиальной песчаной, темноцветная (Umbrisol) и бурая

тропическая (Cambisol) на сильновыветрелых базальтах и туфах, красно-желтая тропическая на метаморфических сланцах. Отбор образцов производился в трехкратной повторности из поверхностного (А), подповерхностного (АВ или АС) и минерального (ВС или С) горизонтов почвенных профилей (табл. 1). До анализа образцы сохранялись при температуре  $-70^{\circ}\text{C}$ .

Т а б л и ц а 1

Характеристика объектов исследования

	Название почвы	Горизонт	Глубина, см	Содержание углерода, %	pH(H <sub>2</sub> O)
I	Темноцветная почва на базальтовых отложениях (Greyzemic Umbrisol)	A1	0-6(10)	3.18	4.9
		AB	6(10)-20(25)	1.54	4.7
		BC (C)	55(60)-115	1.01	4.9
II	Бурая тропическая на базальтах и туфах (Dystric Skeletic Rhodic Cambisol)	A1	0-6(10)	3.11	5.4
		AB	6(10)-25(35)	1.07	5.5
		BmC	45(55)-85(105)	0.61	5.6
III	Красно-желтая тропическая на метаморфических сланцах (Dystric Regosol)	A1	0-4(6)	1.9	3.8
		A1C	4(6)-50(60)	0.6	3.7
		C1	50(60)-80	0.43	4.6
IV	Аллювиальная песчаная (Dystric Fluvisol)	A1	0-6(8)	0.59	5.0
		AB	6(8)-15	0.27	5.2
		C2	45(50)-75	0.22	5.4

Из навески почвы массой 0.5 г проводилось выделение тотальной ДНК при помощи набора реагентов «PowerSoil DNA Isolation Kit» (MO BIO Laboratories, USA). Количественную оценку содержания рибосомальных генов бактерий, архей и грибов осуществляли методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) в реальном времени. Для учета архей и бактерий использовались праймеры на ген 16S рРНК, для учета грибов – на регион ITS. Реакцию проводили в амплификаторе Real-Time CFX96 Touch (Bio-Rad) с измерением интенсивности флуоресценции реакционной смеси на каждом цикле. Реакционную смесь готовили из препарата SuperMix Eva Green (Biorad). В качестве стандартов концентрации генов 16S рРНК для бактерий использовали растворы клонированных фрагментов рибосомального оперона *Escherichia coli*, для архей – штамма FG-07 *Halobacterium salinarum*, для грибов – штамма дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* Meyen 1B-D1606. Концентрацию генов рассчитывали с помощью программного обеспечения CFX Manager. Концентрацию генов в препаратах ДНК пересчитывали в количество генов на грамм почвы с учетом разведений и массы навески.

Во всех исследованных профилях почв численность бактерий, архей и грибов убывала вниз по профилю.

Вулканические почвы, более богатые органическим веществом и макроэлементами, с более высоким pH, характеризуются более высокой численностью микроорганизмов. Наибольшей численностью бактерий ( $1.1 \times 10^{12}$  копий гена 16S рРНК в верхнем горизонте по результатам qPCR) характеризуется темноцветная почва на базальтовых отложениях, обладающая наименее кислой средой, наибольшим содержанием обменных оснований и углерода. Меньшей численностью бактерий ( $3.3 \times 10^{11}$  в А горизонте) характеризуется бурая тропическая маломощная на базальтах и туфах. Еще более низкой ( $2.6 \times 10^{11}$ ) – аллювиальная почва, что, скорее всего связано с ее легким гранулометрическим составом, плохой оструктуренностью и низким содержанием органического вещества. Красно-желтая тропическая почва на метаморфических сланцах, обладающая наиболее низким pH, бедная органическим веществом и обменными основаниями, характеризуется наиболее низкой численностью бактерий ( $2 \times 10^{11}$ ).

Численность архей в данных почвах распределена аналогичным образом: выше в вулканических почвах ( $2.9 \times 10^{11}$ ) и в 2–3 раза ниже – в красно желтой и аллювиальной. В верхних горизонтах всех почв численность рибосомальных генов архей достигает степени  $10^{11}$  – выше, чем в некоторых богатых почвах умеренного климата, например, в черноземах [9].

Численность грибов в верхних горизонтах достигает  $10^{10}$  и слабо различается в исследованных почвах, причем численность грибных генов ITS в верхних горизонтах красно-желтой тропической и аллювиальной почв даже несколько выше, чем в вулканических почвах.



Согласно значениям коэффициента Спирмена, численность бактерий и архей достоверно коррелирует с содержанием углерода ( $r_s=0.7$ ), корреляция грибов с содержанием углерода ниже и недостоверна при  $p=0.05$ . Корреляция численности микроорганизмов с рН практически отсутствует.

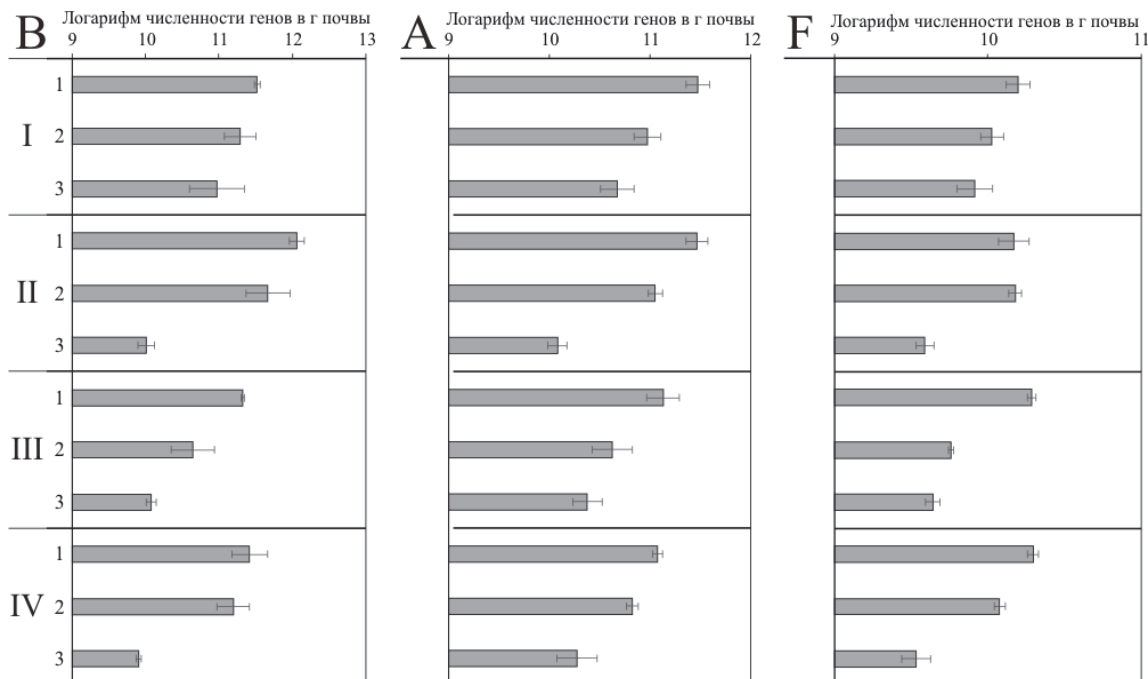


Рис. 1. Численность рибосомальных генов бактерий (В), архей (А) и грибов (F) в поверхностных (1), подповерхностных (2) и минеральных (3) горизонтах исследованных почв.

Римскими цифрами даны номера почв согласно Табл. 1

Необходимо отметить, что численность микроорганизмов в изученных тропических почвах достаточно высока, и сравнима с наиболее богатыми почвами умеренной зоны. Примечательна высокая численность архей, количество рибосомальных генов которых достигает порядка  $10^{11}$  в верхних горизонтах всех почв. При этом, вулканические почвы обладают более богатыми микробными сообществами, чем красно-желтые тропические почвы на метаморфических сланцах и аллювиальные песчаные почвы. Ключевую роль в различии биологических свойств данных почв, по всей видимости, играет минералогический и гранулометрический состав почвы, в свою очередь, определяющий содержание органического вещества.

### Литература

1. Bardgett R.D., van der Putten W.H. Belowground biodiversity and ecosystem functioning // *Nature*. 2014. V. 515. № 7528. P. 505-511.
2. Miyashita N.T., Iwanaga H., Charles S., Diway B., Sabang J., Chong L. Soil bacterial community structure in five tropical forests in Malaysia and one temperate forest in Japan revealed by pyrosequencing analyses of 16S rRNA gene sequence variation // *Genes & genetic systems*. 2013. V. 88. № 2. P. 93-103.
3. Аничкин А.Е. Животное население почв: структура и сезонная динамика // Структура и функции почвенного населения тропического муссонного леса (Национальный парк Кат Тьен, Южный Вьетнам). Под ред. А.В. Тиунова. М.: 2011. С. 44-75.
4. Александрова А.В., Сидорова И. И., Тиунов А. В. Микроскопические грибы почв и листового опада национального парка Кат Тиен (Южный Вьетнам) // *Микология и фитопатология*. 2011. Т. 45, № 1. С. 12-25.
5. Калашникова К.А., Александрова А.В. Почвообитающие микроскопические грибы предгорного тропического леса (лесхоз Лок Бак, Южный Вьетнам) // *Микология и фитопатология*. 2015. Т. 49, № 2. С. 91-101.
6. Калашникова К.А., Коновалова О.П., Александрова А.В. Почвообитающие микроскопические грибы муссонного диптерокарпового леса (заповедник Донг Най, Южный Вьетнам) // *Микология и фитопатология*. 2016. Т. 50. № 2. С. 97-107.

7. Hop D. Van, Sakiyama Y., Thi C., Binh T., Otaguro M., Hang D.T., Miyadoh S., Luong D.T., Ando K. Taxonomic and ecological studies of actinomycetes from Vietnam: isolation and genus-level diversity // The Journal of Antibiotics. 2011. V. 6440. № 10. P. 599–606.

8. Хохлова, О. С., Мякшина, Т. Н., Кузнецов, А. Н., Губин, С. В. Морфогенетические особенности почв национального парка Кат Тьен, Южный Вьетнам // Почвоведение. 2017. № 2. С. 176–194.

9. Semenov M.V., Chernov T.I., Tkhakakhova A.K., Zhelezova A.D., Ivanova E.A., Kolganova T.V., Kutovaya O.V. Distribution of prokaryotic communities throughout the Chernozem profiles under different land uses for over a century // Appl. Soil Ecol. 2018. V. 127 P. 8–18.

#### **ABUNDANCE OF MICROORGANISMS IN THE PRIMARY SOILS OF THE TROPICAL FORESTS OF SOUTHERN VIETNAM**

T.I. Chernov, A.K. Tkhakakhova, A.D. Zhelezova, N.A. Bgazhba

V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Russia, Moscow, chern-off@mail.ru

**Summary.** *The abundance of bacteria, archaea and fungi in the soils of southern Vietnam was studied using analysis of total soil DNA preparations. It was shown that microbial abundance in tropical soils under primary forests is quite high, and is comparable with the richest soils of the temperate zone. Volcanic soils have richer microbial communities than red-yellow tropical soil and alluvial soil.*

**Key words:** *tropics, red soils, volcanic soils, DNA, PCR, bacteria, archaea, fungi.*

## ИЗМЕНЕНИЯ ГЛУБОКОПОДЗОЛЕННЫХ ПОЧВ ПИХТАРНИКОВ В ОЧАГАХ РАЗМНОЖЕНИЯ УССУРИЙСКОГО ПОЛИГРАФА

Н.А. Чернова, А.Н. Никифоров

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, naitina@rambler.ru

**Аннотация.** В работе рассмотрены лабильные признаки серых глубокоподзоленных почв, связанные с изменением пихтовых лесов вследствие изменения их продуктивности, а также пространственная неоднородность отдельных признаков почв на фоне подзолообразования.

**Ключевые слова:** пихтовые леса, уссурийский полиграф, зоогенная сукцессия, подзолообразовательный процесс, гумусонакопление, напочвенный покров.

Уссурийский полиграф (*Polygraphus proximus* Blandf.) в настоящее время является одной из основных причин деградации пихтовых лесов Западной Сибири. Снижение сомкнутости крон или полный распад пихтарников в очагах массового размножения этого инвазионного короеда приводит к перестройке подчиненных ярусов растительных сообществ и, как следствие, к изменению такого структурного компонента биогеоценоза, как почва. Основным фактором трансформации живого напочвенного покрова при деградации пихтовых насаждений является изменение светового режима под материнским пологом древостоя [1].

Зоогенная сукцессия, в ходе которой постепенно теряется эдификаторная роль коренных темнохвойных пород, сопровождается изменением некоторых свойств почв, хода и направленности почвообразовательных процессов, в частности повышением гумусированности почв.

В качестве объектов исследования были выбраны почвы пихтовых лесов разной степени деградации – от почти ненарушенных (квазиестественных) участков с мелкотравным напочвенным покровом, до погибших насаждений с абсолютным доминированием крапивы двудомной. В этом ряду трансформации таежных лесных экосистем под влиянием инвазивного короеда изменяются свойства почв, последовательно переходя от одной стадии к другой: от фоновой серой сверхглубокоподзоленной (P1), через слабонарушенную серую глубокоподзоленную (P2) и средненарушенную серую сильноподзоленную (P3) к сильнонарушенной серой слабоподзоленной (P4). Ключевой участок расположен в пределах Ларинского ландшафтного заказника Томской области, территория которого в геоморфологическом отношении относится к северной части Томь-Колыванской складчатой области, для которой свойственно формирование глубоких оврагов и балок с резкими перепадами высот [2, 3]. В качестве почвообразующих пород здесь выступают породы различного возраста и генезиса, суглинистого и супесчаного гранулометрического состава. В почвенном покрове дренированных возвышений преобладают дерново-подзолистые и серые глубокоподзоленные почвы [2]. На ключевом участке нами были заложены 4 пробные площади, наиболее четко отражающие разные стадии изменчивости некоторых компонентов биогеоценоза (пихтовый элемент древостоев, напочвенный покров, почвы).

До возникновения очагов массового размножения уссурийского полиграфа пихтарники Ларинского заказника были мелкотравными и мелкотравно-зеленомошными. К настоящему времени они сохранились лишь по отдельным участкам с пихтовыми или темнохвойными древостоями слабой степени деградации. Характерной чертой таких пихтарников является абсолютное господство в напочвенном покрове кислицы обыкновенной [1].

Почва таких участков характеризуется наибольшим влиянием подзолообразовательного процесса, сопровождающегося формированием кислой обстановки и бедными условиями развития напочвенного покрова. Общностью морфологических признаков P1 и P2 являются маломощная подстилка и довольно растянутая элювиальная часть профиля. Однако к особенностям формирования P2 можно отнести начало гумусонакопления, о чем свидетельствует наличие в ее профиле серогумусового горизонта достаточной мощности.

Пихтовые древостои средней и сильной степени деградации отличаются резким повышением надземной фитомассы травяного покрова за счет смены доминирующей группы видов с таежного мелкотравья на разнотравье, а затем крапиву. Такое изменение биоценозов на средне и сильно нарушенных участках повлекло за собой формирование на поверхности почв органогенных грубогумусовых горизонтов различной мощности, продукты деструкции, гумификации и минерализации которых меланизировали верхние горизонты почвенного профиля, обеспечивая более благоприятные условия для развития разнотравья. При движении от фоновой к сильнонарушенной почве наблюдается нарастание мощности органо-профиля (рис. 1), а граница гумусово-аккумулятивных горизонтов становится более растянутой, частично захватывая элювиальную часть профиля.

Полная деградация пихтовых насаждений, где произошло усыхание древостоя, приводит к формированию на месте лесных растительных сообществ крапивных фитоценозов, для которых характерно значительное количество травянистого опада. Абсолютное преобладание крапивы двудомной и резкое снижение фитоценотической роли мелкотравья сопровождается изменением некоторых свойств верхних горизонтов профиля.

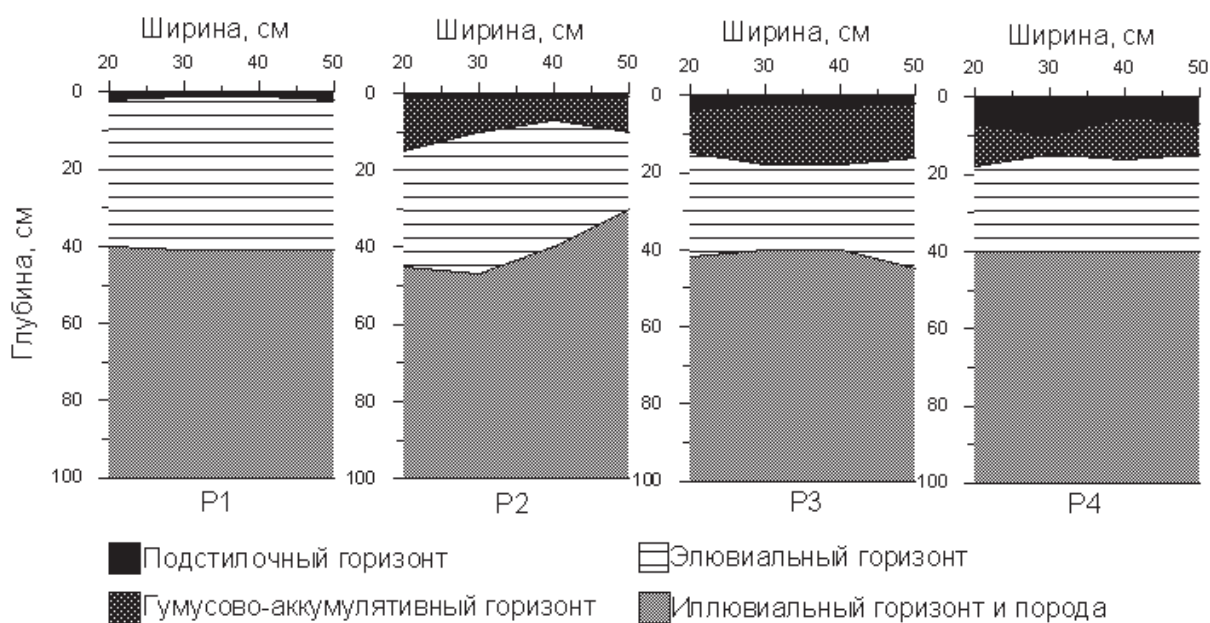


Рис. 1. Пространственное и профильное изменение границ основных горизонтов почв в ряду увеличения степени деградации пихтового леса

Таким образом, многолетнее влияние инвазионного вредителя и отсутствие мер, обеспечивающих сокращение его численности, привело не только к усыханию древостоя, но и к импактным нарушениям отдельных лабильных свойств и признаков почв. На исследуемом участке серые почвы сохраняют в своем профиле признаки ведущего подзолообразовательного процесса, который под влиянием биогенной сукцессии и, как следствие, изменения продуктивности фитоценозов маскируются продуктами гумификации. Такие изменения в верхних горизонтах почв протекают значительно медленнее, чем в самом биоценозе.

Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ 16-44-700782.

#### Литература

1. Кривец С.А. Трансформация таежных экосистем в очагах инвазии полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) в Западной Сибири / С.А. Кривец [и др.] // Российский журнал биологических инвазий. 2015. Т.8, № 1. С. 41–63.
2. Дюкарев А.Г. Почвенно-географическое районирование Томской области / А.Г. Дюкарев, Н.Н. Пологова // Почвоведение. 2002. № 3. С. 282–294.

3. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н. Почвы припоселковых кедровников // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013. № 2 (22). С. 7–22.

**DEVELOPMENTS OF THE DEEPLY PODZOLIZED SOILS OF THE FIR FORESTS IN INVASION FOCUS OF FOUR-EYED FIR BARK BEETLE**

N.A. Chernova, A.N. Nikiforov

Federal State Budgetary Institution of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Tomsk, naitina@rambler.ru

**Summary.** *Labile features of gray deeply podzolized soils associated with changes in fir forests due to changes in their productivity, as well as spatial heterogeneity of separate soil characteristics the background of podzol formation are considered.*

**Keywords:** *fir forests, Polygraphus proximus, zoogenic succession, podzol formation, humification, herbs layer.*

## ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ УРБОЛАНДШАФТОВ БЕЛАРУСИ

Н.К. Чертко, А.А. Карпиченко, А.С. Семенюк

Белорусский государственный университет, Беларусь, Минск, tchertko@yandex.by

**Аннотация.** Почвенный покров городов весьма пестрый по свойствам и структуре, часто с нарушенным профилем, что обуславливает особенности почвенной экологии. В статье приводится сравнительное содержание распространенных металлов (Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Cr, Ti) в различных по площади и населению городах Республики Беларусь (Старые Дороги, Пинск, Жодино, Молодечно). Закономерности распространения металлов связаны с техногенным фактором.

**Ключевые слова:** почвы, экология, урболандшафты, токсичные элементы, тяжелые металлы.

**Актуальность.** Почвы городов развиваются в результате интенсивного, но пространственно-неоднородного антропогенеза, что проявляется в чрезвычайной пестроте структуры почвенного покрова. Под влиянием производственной деятельности человека меняется строение почвенного профиля, гранулометрический, литологический и химический состав почвы, происходит смена окислительно-восстановительной обстановки, кислотно-щелочных условий, направления потоков миграции вещества и энергии. Накопление токсичных металлов в почвах городов происходит в результате замедления техногенных потоков миграции, источниками которых могут служить выбросы промышленных предприятий и транспорта, бытовые и промышленные отходы, сточные воды. Особое значение при этом имеют формирующиеся геохимические барьеры различного генезиса, являющиеся ограничителями миграции химических элементов и формирующие места их вторичного накопления [1].

Большое значение имеет изучение источников эмиссии загрязнителей в окружающую среду, основных магистралей их переноса в различных компонентах урболандшафта. Немалая доля металлов попадает в урболандшафты атмотехногенным путем с пылью и атмосферными осадками, поскольку аэрозольные частицы дымовых газов при остывании адсорбируют свинец, кадмий, ртуть и другие элементы, которые впоследствии осаждаются на растительности и в почве. Уровень загрязнения во многом зависит от величины техногенной нагрузки [2] и специализации промышленности.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследования являлся почвенный покров малых (Старые Дороги), средних (Жодино, Молодечно) и крупных (Пинск) городов Республики Беларусь, имеющих существенные отличия в историческом, географическом и экономическом отношении, что могло сказаться на уровне накопления тяжелых металлов.

Исследования предусматривали равномерный отбор образцов городских почв, при отборе учитывались следующие особенности: рельеф, размещение промышленных предприятий, функциональное назначение территории. Отобранные образцы анализировались на валовое содержание металлов (Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Cr, Ti) с использованием атомно-эмиссионного спектрометра ЭМАС-200 ДДМ в лаборатории экологии ландшафтов Белорусского государственного университета. По результатам лабораторных анализов в Microsoft Excel и Statsoft Statistica производилась статистическая обработка результатов, картирование содержания металлов выполнялось в ArcGIS for Desktop.

**Обсуждение результатов.** Для исследуемых элементов в г. Старые Дороги, который относится к малым городам, превышения ПДК для почв Беларуси [3] не установлено (табл. 1). Содержание токсичных металлов на объекте исследования ниже фонового показателя для белорусских почв [4], но были выявлены небольшие единичные превышения по меди (на 0,2 мг/кг) и свинцу (на 0,4 мг/кг), а также по марганцу (на 40,3 мг/кг). Различие между минимальными и максимальными значениями содержания тяжелых металлов в почвах города составило 2,3 раза для Cu, 2,4 для Pb, 3,9 для Mn. Среднее варьирование наблюдается для валового содержания Pb (25,0 %), Cu (27,5), высокое для Mn (46,4 %) (табл. 2) [5].

Содержание валовых форм металлов в почвах городов

Город	Химические элементы, мг/кг воздушно-сухой почвы*						
	Cu	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr
Старые Дороги	<u>8,7</u> 5,8–13,2	<u>8,1</u> 5,2–12,4	<u>164</u> 74–287	<u>2,9</u> 0,7–6,5	<u>0,8</u> 0,2–1,6	<u>426</u> 241–743	<u>12,9</u> 9,2–25,4
Жодино	<u>19,1</u> 8,6–52,6	<u>12,1</u> 6,4–23,7	<u>449,5</u> 160–833	<u>3,5</u> 2,5–6,8	<u>1,9</u> 0,7–6,5	<u>901</u> 416–1540	<u>20,5</u> 10,3–34,8
Молодечно	<u>17,5</u> 6,6–46,4	<u>18,7</u> 3,1–72,9	<u>460</u> 149–843	<u>11,0</u> 2,3–63,3	<u>3,6</u> 0,6–11,1	<u>1986</u> 479–3580	<u>36,5</u> 9,9–36,5
Пинск	<u>28,2</u> 12–85	<u>27,7</u> 5–222	<u>325,7</u> 59–865	<u>5,4</u> 0,4–15,9	<u>2,3</u> 0,2–9,1	<u>1186</u> 214–2881	<u>29,2</u> 9–151
Фон [4]	13	12	247	20	–	1562	36
ПДК [3]	33	32	1000	20	–	–	100

\* В числителе среднее содержание, в знаменателе – разброс значений.

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты вариации содержания металлов в почвах городов

Город	Коэффициенты вариации содержания металлов, %						
	Cu	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr
Старые Дороги	27,5	25,0	46,4	52,5	55,4	35,5	37,5
Жодино	51,3	37,7	37,0	30,3	63,5	35,3	28,4
Молодечно	51,3	59,7	36,4	87,6	51,3	41,4	43,0
Пинск	57,3	140,5	63,8	65,0	98,1	53,8	91,4

Для изучения содержания токсичных металлов в урболандшафтах г. Пинска (старый крупный город с развитой промышленностью, в т.ч. деревообрабатывающая, легкая, пищевая, машиностроение и металлообработка, химическая) в 2014 г. был произведен отбор проб почвы. По результатам лабораторных анализов проб почв было установлено содержание валовых форм Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Cr, Ti в пересчете на воздушно-сухую почву. Отмечено превышение ПДК для 23 % проб по Cu, 20 % по Pb, единичный случай превышения у Cr [6].

Основным загрязнителем почв в городе Пинске является свинец, на распределении которого остановимся более детально. Содержание свинца в почвах Пинска варьирует в весьма широких пределах (от 5 до 222 мг/кг), из-за чего разница между максимальным и минимальным значениями достигает 43 раз. Наиболее экстремальные значения зафиксированы лишь для одной пробы, отобранной близ дороги без покрытия в частном секторе. В таком случае причину столь высокого загрязнения (практически семикратное превышение ПДК) установить достаточно затруднительно без ретроспективного изучения развития данной территории. Возможно, имело место накопление свинца из-за бытового мусора или за счет совокупного влияния нескольких факторов. В остальных случаях загрязнение не превышало 2 ПДК, было приурочено к прилегающим к дорогам территориям, где загрязнение обусловлено использованием этилированного бензина. Содержание свинца ниже фонового (менее 12 мг/кг) отмечено в основном для слабоизмененных антропогенным воздействием территорий.

Для исследуемых элементов (отбор проб производился в 2015 г.) в г. Жодино (молодой средний город, центр грузового автомобилестроения) отмечается заметно меньший разброс концентраций токсичных металлов, чем в почвах Пинска [7]. Разница между минимальными и максимальными значениями колеблется от 3,4 для Cr до 8,7 раз для Sn, тогда как в Пинске она составляла 7,1–37,8 раз. Меньшая контрастность содержания тяжелых металлов в почвах г. Жодино подтверждается и меньшими значениями коэффициентов вариации (V). Среднее варьирование наблюдается для валового содержания Cr (V = 28,4 %), высокое – у Ni (30,3), Ti (35,3), Mn (37,0), Pb (37,7), Cu (51,3). Только для Sn отмечено очень высокое варьирование (V = 63,5 %), при этом оно обусловлено наличием одиночного пика накопления в частном секторе, имеющего явный бытовой характер, иначе было бы близко к остальным элементам.

Средние содержания исследуемых металлов в почвах г. Жодино заметно ниже, чем в Пинске, за исключением марганца, что обусловлено отличием в специализации промышленного производства данных городов [1]. Дополнительным источником Mn может быть пыль, поступающая от ОАО «БелАЗ».

Валовое содержание свинца в почвах г. Жодино отличается меньшим разбросом значений (от 6,4 до 23,7 мг/кг), чем в Пинске, при этом превышения ПДК не установлено. Для семи проб отмечено накопление Pb до двух региональных кларков, главным образом, для отобранных к северу от ОАО «БелАЗ» и проспекта Ленина, являющегося частью трассы Р-53 с достаточно оживленным движением. Все случаи превышения фона отмечены для точек отбора проб, расположенных на небольшом удалении от крупных дорог или пересечения мелких, что явственно указывает на наличие вклада автотранспорта на формирование данных аномалий. В парковых зонах и достаточно удаленных от дорог местах содержание свинца заметно ниже.

Изучение почв г. Молодечно (старый средний город, источниками эмиссии тяжелых металлов могут быть предприятия электротехнической промышленности, металлообработки, порошковой металлургии, производства строительных материалов) производилось в 2016 г.

Содержание исследуемых элементов для почв Молодечно отличается значительным размахом варьирования, разница между максимальным и минимальным содержанием исследуемых химических элементов колеблется от 5,6 раз для марганца до 27,7 для никеля (варьирование выше, чем в Жодино, но ниже, чем в Пинске). Гистограммы содержаний элементов показывают на ряд одиночных пиков, заметно возвышающихся над средними значениями, при этом коэффициенты вариации свидетельствуют о высоком варьировании для практически всех исследуемых элементов, за исключением никеля, для которого отмечено очень высокое варьирование ( $V = 87,6\%$ ) [8]. Отмечено, что северная часть города загрязнена в большей степени, чем южная. Превышения до 3,2 ПДК отмечены для Cu, Pb, Ni и Cr, наибольшее величины загрязнения характерны для производственно-складской зоны и прилегающих территорий вблизи железнодорожного вокзала, а также недалеко от завода металлоизделий в северной части г. Молодечно [9].

Для свинца в почвах г. Молодечно характерно заметное превышение среднего содержания (18,7 мг/кг) над фоновым (12 мг/кг), которое наблюдается для 77 % отобранных образцов, а также существенная положительная асимметрия распределения, указывающая на заметную роль хозяйственной деятельности человека в формировании данной геохимической аномалии [10]. Однако превышение ПДК (в 1,2–2,2 раза) отмечено лишь для двух смешанных проб, еще у семи были зафиксированы значения в два раза превышающие фоновые и близкие к ПДК. Наиболее загрязненная зона – район железнодорожного и автовокзала с прилегающими территориями, заметно загруженные автотранспортом. Наблюдались локальные повышения концентрации близ парковок и гаражей (западная и юго-западная часть города), промзонах центра города. Более низкие значения накопления свинца характерны для жилых функциональных зон и периферии.

**Выводы.** Установлены значительные отличия в накоплении Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Cr, Ti в почвах исследуемых городов. Наименьшие средние и максимальные значения для всех исследуемых элементов отмечены в почвах малого города (Старые Дороги), наибольшее среднее содержание Cu, Pb наблюдается в почвах крупного города (Пинск). Наибольшие средние концентрации Mn, Ni, Sn, Ti и Cr – в почвах среднего города с развитой электротехнической и металлургической промышленностью (Молодечно). Повышенные концентрации Cu, Ni, Sn скорее связаны с деятельностью завода порошковой металлургии, в исходном сырье которого для производства изделий из бронзы применяются порошки этих металлов, загрязнение может происходить вместе с пылью при их транспортировке. Более высокое содержание Mn, Ti и Cr может быть связано как с техногенезом, так и с генезисом почвообразующих пород, поскольку на юге преобладают моренные отложения, изначально более обеспеченные этими элементами. Молодой средний город (Жодино получил статус города в 1963 г.) геохимически ближе к Молодечно и Пинску, чем к малому городу. Накопление свинца, главным обра-



зом, связано с выбросами автотранспорта, также отмечается повышение его валового содержания (как меди и олова, частично – хрома) в исторических центрах городов.

В целом, экологическая ситуация в большинстве обследованных городов представляется удовлетворительной, в крупных и средних городах имеются локальные участки с конфликтной экологической обстановкой.

### Литература

1. Чертко Н.К., Карпиченко А.А. Теория, методика и практика геохимических исследований урбандолиндов // Вестник БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2016. № 3. С. 129–132.
2. Чертко Н.К., Карпиченко А.А. Техногенные нагрузки на ландшафты Белорусского Полесья // Вестник БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2013. № 2. С. 62–65.
3. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004. Минск, 2004.
4. Петухова Н.Н., Кузнецов В.А. К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси // Доклады АН Беларуси. 1992. Т. 26. №5. С. 461–465.
5. Игнатчик А.А., Чертко Н.К. Тяжелые металлы в урбандолиндах города Старые Дороги / Молодые исследователи – регионам. Материалы Междунар. науч. конф., Вологда, 18–19 апр. 2017 г.: в 4 т. Вологда, 2017. Т. 1. С. 493–495.
6. Марцинкевич Г.И., Счастливая И.И., Чертко Н.К., Карпиченко А.А., Звоников А.А. Урбандолинды г. Пинска: классификация, эколого-геохимическая оценка, способы оптимизации // Вестник БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2015. № 3. С. 70–75.
7. Карпиченко А.А., Чертко Н.К. Особенности накопления титана, марганца и хрома в поверхностных горизонтах почв г. Жодино (Беларусь) // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана). Доклады Всеросс. науч. конф., Москва, 18–20 окт. 2016 г. М.: Географический факультет МГУ, 2016. С. 247–250.
8. Карпиченко А.А., Чертко Н.К., Семенюк А.С. Геохимическая оценка почв и растительности г. Молодечно // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2018. № 1. С. 21–29.
9. Карпиченко А.А., Чертко Н.К., Семенюк А.С. Накопление Cu, Pb, Ni и Cr в почвах г. Молодечно // Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых: материалы междунар. науч. конф., Минск, 23–25 мая 2017 г.: в 2 т. Минск: Право и экономика, 2017. Т. 2. С. 79–81.
10. Добровольский В.В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами // Почвоведение. 1999. № 5. С. 639–645.

### SOIL ECOLOGY OF URBAN LANDSCAPES OF BELARUS

M.K. Chartko, A.A. Karpichenka, A.S. Semianiuk

Belarusian State University, Minsk, Belarus, tchertko@yandex.by

**Summary.** *Soil cover of cities is very heterogeneous by properties and structure, often with a disturbed profile, which determines the specific features of soil ecology. The article compares the common metals (Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Cr, Ti) in various cities and towns in the Republic of Belarus (Staryja Darohi, Pinsk, Žodzina, Maladziečna). The patterns of the distribution of metals are associated with an anthropogenic factor.*

**Keywords:** *soils, ecology, urban landscapes, toxic elements, heavy metals.*

## УСТОЙЧИВОСТЬ ФЕРМЕНТОВ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО К ЗАГРЯЗНЕНИЮ АНТИБИОТИКАМИ

О.В. Чуvaraева, Е.В. Гончарова, Ю.В. Акименко

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, akimenkojuliya@mail.ru

**Аннотация.** В лабораторных модельных исследованиях изучена устойчивость ферментов чернозема обыкновенного к загрязнению антибиотиками. В результате исследований установлено негативное воздействие загрязнения антибиотиками на активность почвенных ферментов. Степень влияния антибиотиков определяется их природой и сроками воздействия. Наиболее информативным из исследованных ферментов является активность дегидрогеназ. Наименее информативным активностью каталазы.

**Ключевые слова:** загрязнение, антибиотики, чернозем обыкновенный, ферментативная активность.

В отечественной и мировой науке накоплен обширный материал по проблеме влияния различных антропогенных воздействий на состояние почв. Большая часть исследований посвящена проблемам химического загрязнения почв и сохранению сельскохозяйственных и экологических функций почв с целью обеспечения продовольственной и экологической безопасности человечества [1-4]. На сегодняшний день, в связи с интенсификацией использования антибиотиков во всех сферах сельского хозяйства, проблеме загрязнения антибиотиками природных экосистем, и почвенного покрова, в частности, уделяется особое внимание. Установлена резистентность к антибиотикам микроорганизмов сточных и поверхностных вод [5, 6], почвы [7].

Основными источниками поступления антибиотиков в окружающую среду является фармацевтическая продукция, ветеринария и медицина человека. Используемые антибиотики передвигаются по пищевым цепочкам, накапливаясь в растениях, в частности овощах и фруктах [7].

В почву антибиотики попадают благодаря применению навоза и сточных вод на сельскохозяйственных землях в качестве удобрения [8]. Локально в почвах обнаруживаются антибиотики группы тетрациклинов от следовых количеств до 900 мг/кг, группы макролидов до 800 мг/кг [9].

Таким образом, актуальным направлением является изучение загрязнения почв антибиотиками, в целях диагностики, мониторинга и нормирования воздействия их на почву в природных экосистемах и агроэкосистемах.

Цель исследования – оценка устойчивости ферментов-оксидоредуктаз чернозема обыкновенного к загрязнению антибиотиками.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследований являлся микробоценоз чернозем обыкновенный южно-европейской фации карбонатный. Черноземы обыкновенные (Voronich Chernozemes Pachic), занимают обширные равнины Азово-Кубанской низменности в пределах Краснодарского края и южной части Ростовской области, по новой классификации – черноземы миграционно-сегрегационные [10].

Была заложена серия модельных лабораторных опытов. Изучали воздействие медицинских антибиотиков – ампициллина, стрептомицина и ветеринарных антибиотиков – тилозина, тромексина, ализерила в концентрации 500 мг/кг на биологические свойства чернозема обыкновенного. Данная концентрация была выбрана по литературным данным, согласно остаточным количествам антибиотиков, обнаруживаемым в окружающей среде [11] и благодаря результатам ранее проведенных рекогносцировочных исследований [12,13]. Антибиотики вносили в почву в виде растворов. Исследования проводили на 3, 30 и 90 сутки после загрязнения. Все образцы почв инкубировали в темном месте при температуре 20–25°C и оптимальном увлажнении (60% от полевой влагоемкости). Контролем служила почва, не загрязненная антибиотиками.

Для изучения биохимических свойств почвы были использованы следующие методы: А.Ш. Галстяна (1978) для определения активности каталазы, А.Ш. Галстяна (1982) для определения активности дегидрогеназ [14].

Статистическая обработка результатов исследования проведена с использованием статистического пакета Statistica 10.0 и программы Excel.

**Обсуждение результатов.** Изучено влияние антибиотиков на активность ферментов двух классов: оксидаз (каталаза, дегидрогеназы). Загрязнение чернозема обыкновенного антибиотиками приводит к снижению активности всех исследованных ферментов. Из ферментов класса оксидаз – активность дегидрогеназ снижалась в большей степени, чем активность каталазы. При исследовании влияния антибиотиков (ампициллина, стрептомицина, тилозина) в концентрации 500 мг/кг установили, что активность каталазы снижалась на 10–15% при внесении антибиотиков. На последующих сроках наблюдается тенденция восстановления активности фермента. Из антибиотиков наиболее эффективным в отношении дегидрогеназы оказался тилозин.

Критерием степени нарушения тех или иных функций почв является интегральный показатель биологического состояния почвы (ИПБС), который определяется на основе набора наиболее информативных биологических показателей, которые первыми реагируют на антропогенное влияние. При снижении интегрального показателя происходит нарушение различных функций почвы. Результаты, полученные при моделировании загрязнения чернозема антибиотиками, показали что, загрязнение почв антибиотиками приводит к снижению ИПБС. Наибольшее снижение (на 10–25%) ИПБС наблюдали в первые сроки от момента загрязнения (3 суток), что свидетельствует о нарушении не только экологических функций почвы, но и биохимических. С увеличением сроков инкубации загрязненных образцов наблюдается увеличение ИПБС. Но, несмотря на наблюдаемую тенденцию восстановления, полученные данные свидетельствуют о нарушении экологических функций почвы и на 90 сутки после загрязнения чернозема антибиотиками.

#### **Выводы:**

1. Установлено негативное воздействие загрязнения чернозема обыкновенного антибиотиками, на ферментативную активность.

2. Степень влияния антибиотиков определяется их природой и сроками воздействия. Бактерицидные антибиотики оказывают наибольшее подавляющее воздействие на исследуемые показатели, чем бактериостатические. По степени ингибирования показателей ферментативной активности чернозема антибиотики образуют следующий ряд: ампициллин  $\geq$  стрептомицин  $>$  тилозин  $>$  тромексин  $>$  ализерил.

3. Наиболее информативным из исследованных биологических показателей при загрязнении антибиотиками активность дегидрогеназ. Наименее информативным активность каталазы.

4. Максимальное воздействие антибиотиков проявляется в первые сроки после загрязнения чернозема (3 суток). На последующих сроках (30, 90 суток) наблюдается тенденция восстановления показателей ферментативной активности. Динамика восстановления ферментативной активности носит нелинейный характер.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-34-00388, РНФ в рамках научного проекта № 18-76-00010 и гранта Президента Российской Федерации (МК-326.2017.11).*

#### **Литература**

1. Kolesnikov S.I., Kuzina A.A., Kazeev K.Sh., Evstegneeva N.A., Akimenko Yu.V. Assessment of resistance of brown forest sour soils of the black sea coast of the Caucasus to the chemical pollution // Ecology, Environment and Conservation 2016. Vol. 22 (3), pp. 519-523.

2. Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Tatlok D.R., Akimenko Yu.V. Biological Condition of the Brown Forest Soils of the Western Caucasus at Pollution by Cadmium, Zinc, Molybdenum and Selenium // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Vol. 7(5), pp. 684-689. ISSN: 0975-8585.

3. Казеев К.Ш., Лосева Е.С., Боровикова Л.Г., Колесников С.И. Влияние загрязнения современными пестицидами на биологическую активность чернозема обыкновенного // *Агрохимия*. 2010. № 11. С. 39–44.
4. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Изменение биохимических свойств чернозема обыкновенного при загрязнении биоцидами // *Агрохимия*. 2015. № 3. С. 81–87.
5. Joy S.R. et al. Fate and transport of antimicrobials and antimicrobial resistance genes in soil and runoff following land application of swine manure slurry. *Environ. Sci. Technol.* 2013. 47, 12081–12088.
6. Heuer H. et al. Antibiotic resistance gene spread due to manure application on agricultural fields. *Curr. Opin. Microbiol.* 2011. 14, 236–243/
7. Radjenovic' J., Petrovic' M., Barceló D., 2009. Fate and distribution of pharmaceuticals in wastewater and sewage sludge of the conventional activated sludge (CAS) and advanced membrane bioreactor (MBR) treatment. *Water Res.* 43, 831–841.
8. Kemper N. Veterinary antibiotics in the aquatic and terrestrial environment: a review. *Ecological Indicators*. 2008. № 8. P. 1–13.
9. Yang J-F, Ying G-G, Zhao J-L, Tao R, Su H-C, Liu Y-S. Spatial and seasonal distribution of selected antibiotics in surface waters of the Pearl Rivers, China. *Environ. Sci. Health*. 2011. V.46. P.272.
10. 10 Классификация и диагностика почв России / Сост.: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
11. Sarmah A.K. et al. A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment. *Chemosphere*. 2006. 65, 725–759.
12. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Мазанко М.С. Экологические последствия загрязнения почв антибиотиками // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2013. Т.15. № 3. С. 1196.
13. Акименко Ю.В. Влияние фармацевтических антибиотиков на динамику численности почвенных микроорганизмов // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. 2014. № 5 (183). С. 63–68.
14. Казеев К. Ш., Колесников С. И., Акименко Ю. В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем: монография / [К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, Ю. В. Акименко, Е. В. Даденко]; Южный федеральный университет; отв. ред. К. Ш. Казеев. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2016. – 356 с.
15. Kong W.D., Zhu Y.G., Fu B.J., Marschner P., He J.Z., 2006. The veterinary antibiotic oxytetracycline and Cu influence functional diversity of the soil microbial community. *Environ. Pollut.* 143, 129–137.
16. Wunder D.B., Tan D.T., LaPara T.M., Hozalski R.M. The effects of antibiotic cocktails at environmentally relevant concentrations on the community composition and acetate biodegradation kinetics of bacterial biofilms // *Chemosphere* 2013. – № 90. – P. 2261–2266.

## STABILITY OF ENZYMES OF THE CHERNOZEM ORDINARY TO POLLUTION BY ANTIBIOTICS

O.V. Chuvaraeva, E.V. Goncharova, Yu.V. Akimenko

Southern Federal University, Rostov-on-Don, akimenkojuliya@mail.ru

**Summary.** *In laboratory model researches stability of enzymes of the chernozem ordinary to pollution is studied by antibiotics. As a result of researches the negative impact of pollution by antibiotics on activity of soil enzymes is established. Extent of influence of antibiotics is defined by their nature and terms of influence. The most informative of the studied enzymes is the activity dehydrogenase. The least informative activity of a catalase.*

**Keywords:** *pollution, antibiotics, chernozem ordinary, enzymatic activity.*

## РОЛЬ ОТДЕЛЬНЫХ ПОЧВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (Zn, Cu, Pb, Cd) В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА АБАКАНА)

Е.В. Юдина

Министерство природных ресурсов и экологии Республики Хакасия, Абакан, elena55555u@mail.ru

**Аннотация.** Проведена оценка содержания тяжелых металлов в поверхностных горизонтах почв автомагистралей, проанализировано содержание органического вещества, pH водной вытяжки, емкость катионного обмена, гранулометрический состав, углекислота карбонатов, эмиссия CO<sub>2</sub>. Установлен факт превышения валовых и подвижных концентраций Zn, Cu, Pb, Cd относительно фона и горизонта С. Подтверждена роль физико-химических свойств почв в аккумуляции тяжелых металлов, в том числе их подвижных форм.

**Ключевые слова:** городские почвы, автотранспорт, тяжелые металлы, валовое содержание, подвижные формы, физико-химические свойства почв.

Тяжелые металлы, являются индикаторами техногенного загрязнения городской почвы, в связи с чем, изучение особенностей их накопления и распределения является приоритетным направлением современных исследований почвенного покрова урбоэкосистем [1, 2].

Процессы, протекающие в городских почвах, определяются не только источниками поступления загрязняющих веществ и степенью техногенного воздействия, но и свойствами присущими самой почве, в связи, с чем значимым аспектом является установление причинно-следственных связей между содержанием загрязнителей и отдельными почвенными характеристиками [3].

Объектами исследования явились пробные участки, заложенные на придорожных полосах четырех основных автомагистралей города Абакана, (№ 1 – Проспект Ленина, № 2 – ул. Ивана Ярыгина, № 3 – ул. Пушкина, № 4 – ул. Ленинского Комсомола), испытывающих максимальную нагрузку.

По результатам оценки интенсивности транспортной нагрузки условно выделены 4 степени нагрузки: I – очень высокая (ул. Пушкина); II – высокая (пр. Ленина); III – средняя (ул. Ивана Ярыгина); IV – низкая (ул. Ленинского Комсомола) [4].

Пробы почв отбирались на расстоянии 0-5м от дорожного полотна, путем составления из 25 точечных, отобранных с глубины 0-10 см (МУ 2.1.7.730-99). В почвенных образцах были определены следующие показатели: содержание органического вещества (ГОСТ 26213-91), pH водной вытяжки (ГОСТ 26423-85), емкость катионного обмена (ГОСТ 17.4.4.01-84), гранулометрический состав (ГОСТ 12536-2014), углекислота карбонатов, эмиссия CO<sub>2</sub> абсорбционным методом [5, 6]. Валовые и подвижные формы тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd) определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре «КВАНТ-АФА».

На основе данных анализа содержания тяжелых металлов проведена оценка химического загрязнения почв относительно предельно допустимых концентраций – ПДК (ГН 2.1.7.2041-06); ориентировочно допустимых концентраций – ОДК (ГН 2.1.7.2511-09), фоновых значений, содержания поллютантов в почвообразующей породе (горизонт С) на аналогичных участках территории города, кларков почв населенных пунктов (табл.1) [1].

Установлено превышение концентраций Zn по сравнению с фоном, в том числе: валового содержания в 1,2–4,0 раза, подвижных форм в 3,5–91,7 раза, также на участках № 3, 4 можно отметить незначительное превышение ПДК в 1,1–1,5 раза. Превышение валового Zn в 1,4–4,5 раза относительно горизонта С характерно для всех экспериментальных площадок. Аналогичную ситуацию констатируем и для подвижных форм Zn, когда кратность превышения на большинстве площадок составила 1,6–8,1.

## Оценка загрязнения тяжелыми металлами (Zn, Cu, Pb, Cd) почв придорожного полотна

Критерии оценки валовых (В) и подвижных (П) форм, (мг/кг)							
Zn		Cu		Pb		Cd	
В	П	В	П	В	П	В	П
Фон							
51,1	0,369	21,6	0,205	8,5	1,002	0,4	0,06
ПДК							
–	23,0	–	3,0	32,0	6,0	–	–
ОДК							
220,0	–	132,0	–	130,0	–	2,0	–
Горизонт С							
45,2	4,2	16,6	0,8	10,4	1,6	0,07	0,04
Кларк							
158,0	–	39,0	–	54,5	–	0,9	–

Содержание валовых форм Cu не превышает установленные нормативы, значение валового содержания превысило фон, содержание относительно горизонта С и кларк в 1,1–3,2, 1,1–4,0 и 1,2–1,7 раза, соответственно. Кратность превышения концентрации подвижных форм Cu относительно фона составила 1,9–35,5, относительно ПДК 1,3–2,4. На участке № 3 с очень высокой степенью транспортной нагрузки установлено превышение содержания Cu относительно горизонта С в 1,5–9,0 раза.

Данные, касающиеся валового содержания Pb, показывают превышение ПДК на участках № 1, 3 в 1,4–2,0 раза, кларка на участке № 3 в 1,2 раза. Факт превышения фона по содержанию Pb можно наблюдать на всех исследуемых участках в 1,3–7,6 раза для валового содержания и 1,9–10,7 раза для подвижных форм элемента. Кратность превышения концентрации Pb относительно горизонта С составила 1,2–6,2 и 1,2–1,8 для валовых и подвижных форм соответственно, при этом максимальные показатели установлены на участке № 3. На участках № 1, 3, 4 превышение ПДК для подвижного Pb составило 1,3, 1,8, 1,1 раза, соответственно.

Валовое содержание Cd не превышает нормативов ОДК и кларкового содержания на всех исследуемых участках, превышение относительно фонового можно наблюдать для валового содержания в 1,1–1,6 раза, для подвижных форм в 2,1–8,1 раза. Кратность превышения концентрации Cd относительно горизонта С составила 2,2–9,0 и 3,1–14,9 для валовых и подвижных форм соответственно.

Анализируя средние показатели содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов можно проследить зависимость их содержания от степени транспортной нагрузки (табл. 2).

## Содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов

Степень транспортной нагрузки	Содержание валовых (В) и подвижных (П), (мг/кг)							
	Zn		Cu		Pb		Cd	
	В	П	В	П	В	П	В	П
I	116,5	24,2	43,6	3,4	33,0	7,8	0,4	0,3
II	113,0	6,3	20,2	0,3	24,1	3,4	0,4	0,2
III	88,1	11,4	19,9	0,5	15,0	3,5	0,3	0,2
IV	104,3	23,2	17,5	2,6	16,8	5,8	0,4	0,2

Максимальные значения средних концентраций, наблюдаются на участке с I степенью транспортной нагрузки, что в целом подтверждает значимость роли автотранспорта как основного источника загрязнения городских почв.

Распределение валового содержания исследуемых элементов в составе почв придорожного полотна образует убывающий ряд: Zn>Cu>Pb>Cd. Концентрации подвижных форм металлов образует убывающий ряд: Zn>Pb>Cu>Cd.

Показатель подвижного Zn на участке, которому присвоена II степень транспортной нагрузки, в 1,8 и 3,7 раза меньше по сравнению с участками с III и IV степенью, соответственно. Аналогичная тенденция отмечается для Cu и Pb минимальные показатели, которых наблюдаются на участках со степенью нагрузки II и III.

Концентрации подвижных форм Zn, Cu, Pb на участке с низкой (IV) степенью транспортной нагрузки, сопоставимы с аналогичными на участке где транспортная нагрузка максимальна (I), что позволяет предполагать наличие особых почвенных условий, определяющих механизмы аккумуляции элементов и их перехода в активное состояние.

С целью установления причинно-следственных связей между содержанием металлов и почвенными характеристиками проанализированы средние показатели отдельных физико-химических свойств почв на участках с разной степенью транспортной нагрузки (табл. 3).

На участках со II и III степенью транспортной нагрузки показатели гумуса, емкости катионного обмена, гранулометрического состава, достигают максимальных значений, что объясняет низкие показатели концентраций подвижных форм Zn, Cu, Pb на данных участках. Органическое вещество значительно фиксирует тяжелые металлы, однако содержание и состав органического вещества почв не влияет на подвижность Cd, показатели которого практически одинаковы на всех участках. Емкость катионного обмена является обобщающим показателем, обусловленным содержанием илистой фракции и органического вещества, значения которых на участках со II и III степенью транспортной нагрузки максимальны, что в свою очередь определяют удерживающую способность почв по отношению к тяжелым металлам и низкие концентрации подвижных форм.

Высокие показатели эмиссии CO<sub>2</sub> (5,3 и 4,6) на участках со II и III степенью транспортной нагрузки определяют снижение подвижности металлов на данных участках, возможно связанной с их переходом в живое вещество либо их иммобилизацией живыми организмами [1–3, 7].

Отдельные почвенные характеристики участка с низким уровнем нагрузки (IV) сопоставимы с аналогичными значениями, фиксируемыми на участке с максимальным транспортным прессом (I), это касается гумуса, емкости катионного обмена, углекислоты карбонатов, гранулометрического состава, что в свою очередь объясняет близость числовых значений концентраций подвижных форм элементов установленных на данных участках.

Т а б л и ц а 3

Средние показатели отдельных физико-химических свойств почв

Степень нагрузки	Показатели					
	рН водной вытяжки	Гумус, %	Емкость катионного обмена, мг-экв/100 г	Углекислота карбонатов, %	Грансостав, % частицы <0,01 мм	Эмиссия CO <sub>2</sub> , мг/10 г
I	8,0	5,9	10,3	1,4	14,4	3,8
II	8,3	6,3	22,5	0,6	22,8	5,3
III	8,3	6,2	21,0	5,5	22,1	4,6
IV	8,3	5,2	10,8	2,3	15,1	5,8

Что касается величины рН, то при практически одинаковых значениях (8,0–8,3) достоверно определить степень влияния на подвижность элементов на отдельных участках не представляется возможным, однако в ряде литературных источников отмечается, что в целом увеличение значения рН сопровождается снижением мобильности ионов тяжелых металлов [1–3, 7].

По результатам оценки химического загрязнения почв придорожного полотна факт превышения валовых и подвижных концентраций Zn, Cu, Pb, Cd относительно фонового содержания и горизонта С установлен на всех экспериментальных участках. На участках с I и II степенью транспортной нагрузки установлено превышение нормативов ПДК валового содержания Pb в 1,4–2,0 раза, что подтверждает значимость роли автотранспорта в загрязнении почв урбоэкосистем.

Анализ концентраций подвижных форм металлов прямую зависимость от интенсивности воздействия автотранспорта, как источника загрязнения не подтверждает. Превышение концентраций подвижных форм Zn, Cu, Pb относительно установленных нормативов зафиксировано на участках как с очень высокой степенью транспортной нагрузки (I степень), так и на участках где воздействие автотранспорта минимально (IV), что позволяет предполагать наличие особых почвенных условий, способствующих их переходу в активное состояние.

При сравнительном анализе отдельных почвенных характеристик (гумус, емкость катионного обмена, уголекислота карбонатов, гранулометрический состав) и значений концентраций подвижных форм элементов на аналогичных участках, подтверждена прямая обусловленность мобильности тяжелых металлов свойствами почвы.

### Литература

1. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2013. 388 с.
2. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрейя-2000, 1999. 610 с.
3. Дабахов М.В. Экологическая оценка почв урбанизированных ландшафтов: моногр./ М.В. Дабахов, Е.В. Дабахова, В.И. Титова; Нижегородская гос. с.-х. академия. Н. Новгород: НИУ РАНХиГС, 2014. 300 с.
4. Трофименко Ю.В., Якимов М.Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов. М.: Логос, 2013. 464 с.
5. Методические указания по определению уголекислоты карбонатов в почвах / Всесоюз. произв.-науч. об-ние по агрохим. обслуж. сел. хоз-ва «Союзсельхозхимия», Центр. ин-т агрохим. обслуж. сел. хоз-ва / С.Г. Самохвалов. М.: ЦИНАО, 1984. 22 с.
6. Методы исследований органического вещества почв. М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИ-ОУ, 2005. 521 с.
7. Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Титова В.И. Экоотоксикология и проблемы нормирования / Нижегородская гос. с.-х. академия. Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. 165 с.

### THE ROLE OF SOILS CHARACTERISTICS IN THE ACCUMULATION OF HEAVY METALS (ZN, CU, PB, CD) IN THE URBAN ENVIRONMENT (BY THE EXAMPL OF THE CITY OF ABAKAN)

E.V. Yudina

Ministry of natural resources and environment of the Republic of Khakassia, Abakan, elena55555u@mail.ru

**Summary.** *The content of heavy metals in the surface horizons of the soil of highways was evaluated, the content of organic matter, pH of water extraction, cation exchange capacity, granulometric composition, carbon dioxide, CO<sub>2</sub> emission was analyzed. The fact of the excess bulk and mobile concentrations of Zn, Cu, Pb, Cd, relative to the background and skyline C. Confirmed the role of physico-chemical properties of soils in the accumulation of heavy metals, including their mobile forms.*

**Keywords:** *urban soils, vehicles, heavy metals, total contents, available forms, physico-chemical properties of soils.*



## ФОРМИРОВАНИЕ ЗООМИКРОБИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ В ЮЖНОЙ ТУВЕ

М.В. Якутин, В.С. Андриевский

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, yakutin@issa.nsc.ru, VS@issa.nsc.ru

**Аннотация.** Исследование проведено в подзоне сухих степей в Убсу-Нурской котловине Республики Тува. Изучено становление зоомикробияльного комплекса, в процессе развития почв при зарастании песков. Выявлены закономерности изменения  $C_{орг}$ , микроббиомассы и численности и видового богатства панцирных клещей (орибатид) на разных стадиях первичной сукцессии. Показано, что молодые почвы, развивающиеся в подзоне сухих степей испытывают значительный дефицит влаги, и поэтому скорость их развития и формирования в них зоомикробияльного комплекса может быть сильно замедлена. Особенно затрудненным может оказаться процесс развития на самой первой стадии – стадии перехода от инициального эмбриозема к светло-каштановой почве.

**Ключевые слова:** южная Тува, песчаная гряда, каштановые почвы, почвообразование, зоомикробияльный комплекс, первичная сукцессия, органический углерод, биомасса микроорганизмов, панцирные клещи, численность и видовое богатство.

Процесс разложения растительного вещества и накопление запасов гумуса в молодых почвах обуславливает в значительной степени их развитие и превращение в зрелую почву. Важнейшую роль в этих процессах играют организмы-деструкторы. Особое значение на ранних этапах почвообразования имеет формирование запасов биомассы почвенных микроорганизмов и комплекса педобионтов – основы деструкционного звена биологического круговорота [1].

Зоомикробияльным комплексом принято называть тесную ассоциацию сапротрофных микроорганизмов с беспозвоночными животными, существующими в почве и подстилке. Поскольку никакие почвенные животные не способны самостоятельно перерабатывать растительное вещество, на разных этапах в этом процессе участвуют микроорганизмы [2, 3, 4]. Многие исследователи отмечают значительное увеличение скорости минерализации органического вещества в присутствии различных почвенных животных [5, 6].

Одна из многочисленных и важнейших групп среди почвообитающих животных – микроартроподы, среди которых доминируют две таксономические группы: коллемболы и панцирные клещи (орибатиды). Их численность в некоторых типах почв достигает сотен и даже миллиона экземпляров на квадратный метр. Уровень потребления микробной биомассы у мелких беспозвоночных в сотни раз выше, чем у крупных. С учётом же большей численности, их вклад в регуляцию микробияльного комплекса намного больше [4].

Целью данного исследования было изучение процессов формирования биомассы почвенных микроорганизмов и сообщества панцирных клещей – важнейших компонентов почвенного зоомикробияльного комплекса – в ходе первичной сукцессии на песках в южной Тuve. Исследование проведено в Убсу-Нурской котловине. Хребты Западный и Восточный Танну-Ола, Харумнум-Тайга и Сангилен являются северной границей Убсу-Нурской котловины и, одновременно, Центральной Азии, отделяя ее от Сибири. Убсу-Нурская котловина является частью области озерных равнин Западной Монголии и лежит, в так называемой, Котловине Больших Озер – одной из наиболее засушливых частей Центральной Азии [7].

Для Убсу-Нурской котловины характерен сложный, мозаичный растительный покров. Наиболее распространенным биомом в равнинной части котловины являются степи, сухие на каштановых и опустыненные на бурых полупустынных почвах [8]. Широковолнистая пологая увалисто-холмистая равнина с останцами массивно-кристаллических пород занимает большую площадь в восточной части котловины. Останцовые горы в виде сопок, гряд, увалов и холмов имеют превышения над окружающими равнинами от нескольких десятков до сотен метров. Пространства между останцами заняты пологонаклонными волнистыми и слабоборасченными равнинами, обращенными к замкнутым вытянутым понижениям. Почвооб-

разующие породы представлены на равнинах делювиальными и пролювиально-делювиальными отложениями. [8, 9]. В центре Убсу-Нурской котловины широко представлены песчаные массивы. Для них характерны широкие и вытянутые грядово-бугристые формы рельефа, сильно осложненные более мелкими холмисто-ячеистыми, барханными и другими формами. С подветренной стороны, особенно на теневых склонах и в понижениях таких песчаных массивов формируются «каштановые пески» (на слабозакрепленных участках) и светло-каштановые и каштановые почвы (на хорошо закрепленных участках) [9]. Пески, слагающие массив Цугер-Элисс имеет аллювиальное происхождение. После опускания местного базиса эрозии речная терраса оказалась «обезвоженной» и была развеяна ветрами. Мощность эоловых отложений достигает 10–12 метров. Пески состоят в основном из зерен кварца и полевого шпата мелкой и средней размерности [10].

Все объекты исследования были выбраны в подгорной равнине Хребта Сангилен в окрестностях оз. Торе-Холь. В качестве начальных стадий почвообразования рассматривались закрепленные пески в песчаном массиве Цугер-Элисс. Здесь была выбрана катена, в элювиальной позиции которой находится разреженное разнотравное сообщество (проективное покрытие 2%, высота травостоя 10 см) на слабо закрепленном песке (Т. 1), а в аккумулятивной позиции – разнотравно-злаковая сухая степь с караганой (проективное покрытие 30%, высота травостоя 20 см) на светло-каштановой маломощной песчаной почве (Т. 2). В качестве терминальной стадии развития рассматривалась почва каштановая среднemocная супесчаная под разнотравно-полынно-злаковой сухой степью (проективное покрытие 60%, высота травостоя 5–30 см) близ останца Онджалан (Т. 3). Все выбранные участки находятся под умеренной пастбищной нагрузкой: летней (Цугер-Элисс) и зимней (Онджалан). Таким образом, можно проследить постепенное развитие почвы в условиях подзоны сухих степей от инициального эмбриозема (элювиальная позиция Цугер-Элисс) через маломощную светло-каштановую почву (аккумулятивная позиция Цугер-Элисс) к сформировавшейся каштановой почве (останец Онджалан).

Отбор образцов почвы и последующая подготовка их для микробиологического анализа проводились общепринятыми методами [11]. В образцах почв определялись полевая влажность и содержание  $C_{орг}$  мокрым сжиганием по Тюрину [12]. Углерод биомассы микроорганизмов в почвах определялся методом фумигации-инкубации с вычетом контроля (0–10 суток). Навеска почвы составляла 25 г, коэффициент минерализации  $K_c=0,45$  [13]. Повторность опыта 2–3 кратная.

Для анализа населения панцирных клещей отбирались почвенные пробы стандартным цилиндрическим пробоотборником на глубину 5 см в 10-кратной повторности в каждом биотопе. Выгонка клещей из почвы осуществлялась общепринятым методом термоэктекции Берлезе–Тульгрена. Извлеченные из почвы клещи помещались в постоянные препараты, в которых под микроскопом определялась их видовая принадлежность. Численности (обилие) клещей рассчитывались по стандартной методике на  $1 м^2$ , исходя из площади пробоотборника [14]. Статистическая обработка результатов проводилась методами вариационного и дисперсионного анализов [15; 16].

Примерный возраст почв, сформировавшихся на песчаной гряде Цугер-Элисс и в шлейфе останца Онджалан определен по описаниям почвенных разрезов и анализу содержания  $C_{орг}$  на основании закономерностей изменения песчаных почв в зависимости от возраста, установленных А.Г. Гаелем и Л.Ф. Смирновой [17]. Так примерный возраст эмбриозема инициального – слабо закрепленный песок – (Т. 1) по нашим оценкам составляет около 100 лет, светло-каштановой супесчаной маломощной (Т. 2) – 4500 лет, а каштановой супесчаной маломощной (Т. 3) – 8000 лет.

Подзона сухих степей вообще характеризуется аридными условиями, и влажность является одним из основных факторов, ограничивающих развитие микроорганизмов и почвообитающих животных в каштановых почвах. Влажность всех почвенных образцов во все сроки отбора оказалась очень низкой (0,3–2,2%). Содержание органического углерода ( $C_{орг}$ ) было минимальным на элювиальной позиции (Т. 1) и увеличивалось в 3,3 раза на аккумулятивной

позиции катены Цугер-Элисс в почве светло-каштановой маломощной песчаной (Т. 2) (рис. 1).

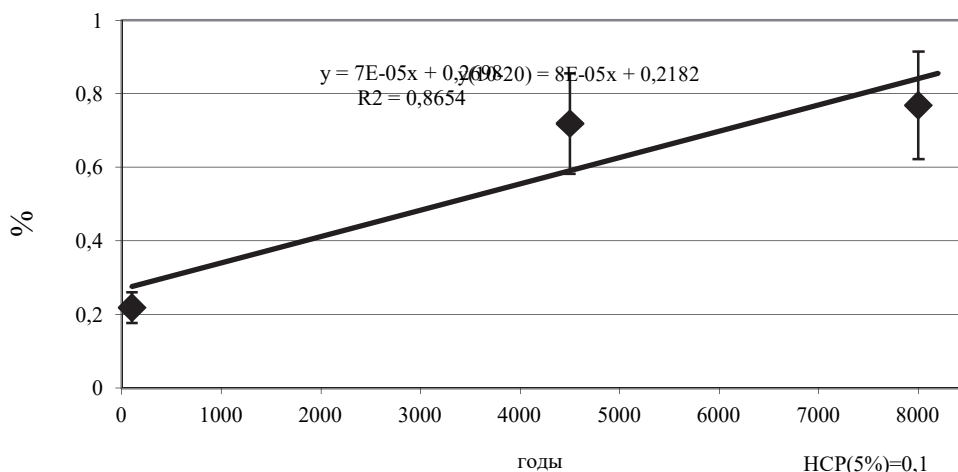


Рис. 1. Динамика накопления  $C_{орг}$  (%) в песчаных почвах и зависимость  $C_{орг}$  от возраста почвы

В слабо закрепленном песке (Т. 1) содержание С-биомассы было минимальным (0,4 мг С / 100 г) и резко (в 37 раза) увеличивалось в почве светло-каштановой песчаной, на аккумулятивной позиции катены Цугер-Элисс (рис. 2). В процессе дальнейшего развития почв от светло-каштановой к каштановой происходит увеличение содержания С-биомассы в 1,4 раза. Основное влияние на содержание С-биомассы на первом этапе развития также как и на содержание  $C_{орг}$  оказывает комплекс факторов, определяемый возрастом почвы ( $F=120$ ,  $p<0,001$ ). Влияние всех остальных рассмотренных факторов на С-биомассы в процессе развития почвы оказывается несущественным.

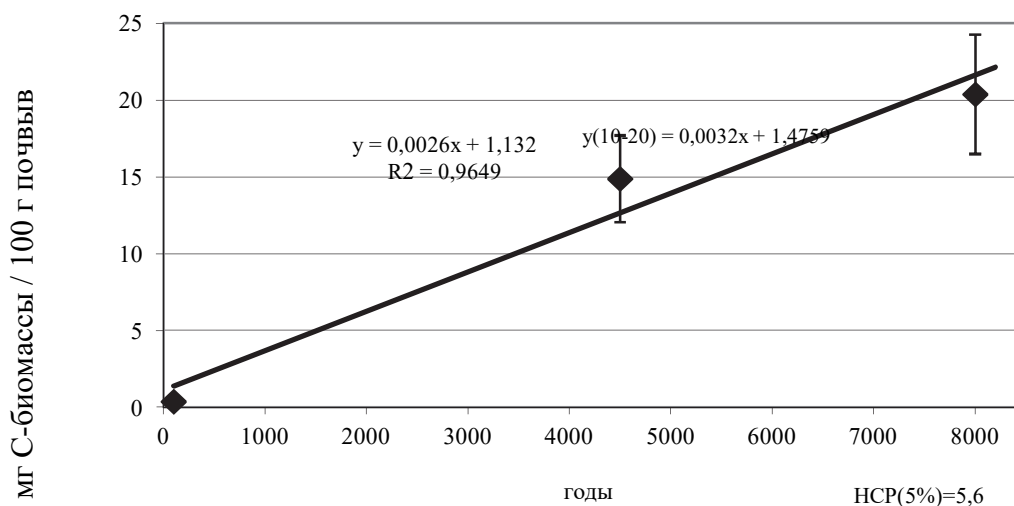


Рис. 2. С-биомассы микроорганизмов (мг С / 100 г почвы) в песчаных почвах и зависимость С-биомассы от возраста почвы

В результате проведенного анализа населения панцирных клещей во всех экосистемах было обнаружено 5 видов орибатид. В эмбриоземе инициальном (Т. 1) орибатид не было зафиксировано. Основу видового состава панцирных клещей в каштановых почвах (Т. 2, 3) составляют виды-ксерофиты, зоогеографически приуроченные к Средней и Центральной Азии. Обнаруженные виды распределяются в исследуемых экосистемах неравномерно. Два явных доминанта, характерных для большинства биотопов Тувы (*Exochoerpeus laticuspis* и

*Eporibatula prominens*), заселяют исключительно почву экосистемы, находящейся в терминальной стадии развития (Т. 3) и в незначительном количестве (*E. laticuspis*) встречаются в аккумулятивной позиции гряды Цугер-Элис (Т. 2). Доминантами в Т. 2 являются *Bipassalozetes cf. lineolatus* и *Oribatula elegantissima*. Высокая степень доминирования отдельных видов вообще характерно для сообществ, находящихся в экстремальных условиях существования [18]. При этом в Т. 2 численность орибатид оказалась в 10 раз меньше, чем в Т. 3 (рис. 3).

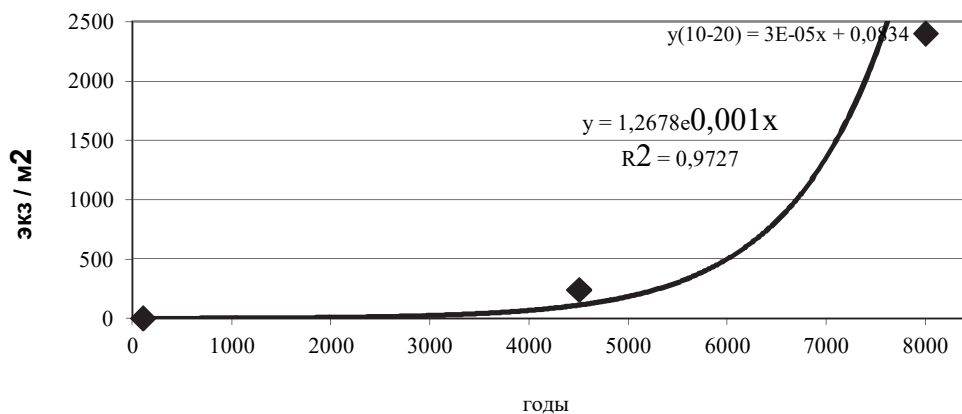


Рис. 3. Изменение численностей орибатид (экз./м<sup>2</sup>) в песчаных почвах и зависимость численности от возраста почвы

Таким образом, на инициальной стадии развития почв на песках в подзоне сухих степей, которая характеризуется низким содержанием органического углерода, зоологический компонент деструкционного комплекса отсутствует. Деструкция растительного опада осуществляется исключительно комплексом почвенных микроорганизмов. Биомасса микроорганизмов характеризуется очень низкими значениями. В процессе развития эмбриозема уже на стадии перехода к светло-каштановой почве происходит значительный рост содержания  $S_{\text{орг}}$  и  $S$ -биомассы микроорганизмов. Появляются панцирные клещи, сообщество которых отличается низкими видовым богатством и численностью. На этой стадии можно говорить о формировании зоомикробияльного комплекса. В процессе дальнейшего развития светло-каштановой почвы по пути превращения в каштановую в ней увеличиваются содержание  $S$ -биомассы и численность панцирных клещей. Происходит смена видов-доминантов в сообществе орибатид, но видовое богатство остается низким.

Основным лимитирующим фактором процесса инициального почвообразования в сухостепной подзоне является влага. Ее дефицит значительно осложняет освоение почвообразующих субстратов растениями, что замедляет процесс формирования запаса мортмассы, а это в свою очередь замедляет развитие комплекса деструкторов. Сдерживает заселение песков растительностью и крайняя бедность элементами питания. После поселения растений на песке и формирования даже первичных растительных ассоциаций потери дефицитной влаги резко снижаются, благодаря притенению почвы растениями. Показано, что задернованные пески теряют влагу на физическое испарение на 10-20% меньше, чем пески голые. Кроме того, пески, не заросшие растительностью, сильнее и глубже охлаждаются зимой и прогреваются летом, чем песчаные почвы под растительностью [17].

Таким образом, зоомикробияльный блок деструкционного звена биологического круговорота в почвах, формирующихся на песках, находящихся на разных стадиях почвообразования резко отличается по степени своего развития. Молодые почвы, развивающиеся в подзоне сухих степей испытывают значительный дефицит влаги, и поэтому скорость их развития и формирования в них зоомикробияльного комплекса может быть сильно замедлена. Особенно затрудненным может оказаться процесс развития на самой первой стадии – стадии перехода от инициального эмбриозема к светло-каштановой почве.

## Литература

1. Тейт Р. III Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты. М.: Мир, 1991. 400 с.
2. Стебаев И.В. Характеристика надпочвенного и почвенного зоомикробиотических комплексов степных ландшафтов Западной и Средней Сибири // Зоологический журнал. 1968. № 5. С. 661–675.
3. Стебаев И.В. Зоомикробиологические комплексы в биогеоценозах // Почвенные организмы как компоненты биогеоценоза. М.: Наука, 1984. С. 3–15.
4. Бызов Б.А. Зоомикробные взаимодействия в почве. М.: ГЕОС, 2005. 213 с.
5. Стриганова Б.Р. Питание почвенных сапрофагов. М.: Наука, 1980. 243 с.
6. Мордкович В.Г., Березина О.Г., Любечанский И.И., Андриевский В.С., Марченко И.И. Трансформация органического вещества почвы сообществом микроартропод в Западно-Сибирской северной тайге // Известия РАН. Серия биологическая. 2006. № 1. С. 95–101.
7. Сеницын В. М. Центральная Азия. М.: Гос. изд-во географ. лит-ры, 1959. 456 с.
8. Носин В. А. Почвы Тувы. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1963. 342 с.
9. Эксперимент «Убсу-Нур». Коллективная монография. Ч. 1. Наземные исследования / [отв. ред. В. В. Бугровский]. М.: ИНТЕЛЛЕКТ, 1995. 336 с.
10. Чистяков К. В., Селиверстов Ю. П., Москаленко И. Г., Новиков С. А., Севастьянов Д. В. Проблемы устойчивости внутриконтинентальных горных ландшафтов в изменяющемся мире. СПб.: Изд-во РГО, 1994. 94 с.
11. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г.Звягинцева. . М.: Изд-во МГУ, 1991. 303 с.
12. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
13. Schinner F., Ohlinger R. E., Kandeler R. Methods in soil biology. Berlin: Springer-Verlag, 1996. 420 p.
14. Методы почвенно-зоологических исследований / под ред. М. С. Гилярова. М.: Наука, 1975. 275 с.
15. Плохинский Н. А. Биометрия. М.: Изд-во МГУ, 1970. 367 с.
16. Сорокин О. Д. Прикладная статистика на компьютере. Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2004. 162 с.
17. Гаель А. Г., Смирнова Л. Ф. Пески и песчаные почвы. М.: ГЕОС, 1999. 252 с.
18. Степи Центральной Азии / И. М. Гаджиев, А. Ю. Королюк, А. А. Титлянова [и др.]. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 299 с.

### FORMATION OF ZOOMICROBIAL COMPLEX DURING THE DEVELOPMENT OF CHESTNUT SOILS IN SOUTHERN TUVA

M. V. Yakutin, V. S. Andrievskii

Institute of Soil Sciences and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, yakutin@issa.nsc.ru, VS@issa.nsc.ru

**Summary.** *The study was conducted in the subzone of dry steppes in the Ubsu-Nur depression in the Tuva Republic. The formation of the zoomicrobial complex during the development process of soils during the overgrowing of sands have been studied. Regularities of the change Corg, microbiomass abundance and species richness of oribatid mites at different stages of primary succession were revealed. It is shown that the young soils, developing in the subzone of dry steppes are experiencing a significant shortage of moisture, and therefore the speed of their development and formation in them zoomicrobial complex may be much too slow. The process of development at the very first stage – the stage of transition from the initial embryos to light chestnut soil may be particularly difficult.*

**Keywords:** *southern Tuva, sandy ridge, chestnut soils, soil formation, zoomicrobial complex, primary succession, organic carbon, microbial biomass, the abundance and species richness of oribatid mites.*

# СОДЕРЖАНИЕ

## Секция 1. ЗОНАЛЬНАЯ И ПРОВИНЦИАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКА ГЕНЕЗИСА И ЭВОЛЮЦИИ ПОЧВ

<b>Азаренок Т.Н., Шульгина С.В., Матыченков Д.В., Матыченкова О.В., Шибут Л.И., Дыдышко С.В. АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОРГАНОГЕННЫХ ПОЧВ .....</b>	<b>5</b>
<b>Дыдышко С.В., Азаренок Т.Н., Шульгина С.В. ОСОБЕННОСТИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДЕРНОВО-ПАЛЕВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЛЕГКОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ, РАЗВИВАЮЩИХСЯ НА МОЩНЫХ ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКАХ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ АГРОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ .....</b>	<b>10</b>
<b>Енчилик П.Р., Асеева Е.Н., Семенов И.Н., Терская Е.В., Касимов Н.С. БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ФИТОМАССЫ ЮЖНО-ТАЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА .....</b>	<b>15</b>
<b>Ергина Е.И. СОВРЕМЕННЫЙ ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА .....</b>	<b>20</b>
<b>Жангуров Е.В., Дубровский Ю.А., Дёгтева С.В. ПОЧВЫ ГОРНЫХ БЕРЕЗОВЫХ РЕДКОЛЕСИЙ СЕВЕРНОГО УРАЛА: РАЗНООБРАЗИЕ, ГЕНЕЗИС, КЛАССИФИКАЦИЯ .....</b>	<b>25</b>
<b>Каллас Е.В. ГУМУСОВЫЙ ПРОФИЛЬ ПОЧВ КАК НОСИТЕЛЬ ИНФОРМАЦИИ ОБ ЭВОЛЮЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И СТАДИЙНОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ .....</b>	<b>30</b>
<b>Карелина В.С. ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫЕ ПОЧВЫ СО ВТОРЫМ ГУМУСОВЫМ ГОРИЗОНТОМ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ АЛТАЙСКОГО КРАЯ .....</b>	<b>34</b>
<b>Ковда И.В., Рябуха А.Г., Поляков Д.Г., Левыкин С.В., Петрищев В.П., Яковлев И.Г., Норейка С.Ю., Ряхов Р.В. КРИОГЕННЫЕ ПРИЗНАКИ В ПОЧВАХ МЕЛОВЫХ ПОЛИГОНОВ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ .....</b>	<b>37</b>
<b>Козлова А.А. СПЕЦИФИКА ГЕНЕЗИСА И ЭВОЛЮЦИИ ПОЧВ ЮЖНОГО ПРЕДБАЙКАЛЯ .....</b>	<b>42</b>
<b>Краснощеков Ю.Н. МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВАХ ПСЕВДОТАЕЖНЫХ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ХАНГАЯ В МОНГОЛИИ .....</b>	<b>47</b>
<b>Мартынова Н.А., Власова В.Ю. СТАБИЛИЗАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА БАЛАГАНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ .....</b>	<b>52</b>
<b>Мартынова Н.А., Труханова М.В. ПРОВИНЦИАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКА ГЕНЕЗИСА И ЭВОЛЮЦИИ ПОЧВ ТУНКИНСКОЙ ДОЛИНЫ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ .....</b>	<b>57</b>
<b>Мехтиев Г.Д. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИСУТСТВУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ ИЛИСТОЙ ФРАКЦИИ И ПРОЦЕНТНОЕ СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛОВ В ГОРНЫХ ПОЧВАХ НАХИЧЕВАНСКОЙ АР .....</b>	<b>62</b>
<b>Михеева И.В., Оплеухин А.А. ИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ТАКСОНОМИЧЕСКИХ РАЗЛИЧИЙ СВОЙСТВ ПОЧВ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ .....</b>	<b>66</b>
<b>Никифоров А.Н., Дюкарев А.Г. ОСОЛОДЕЛЫЕ ПОЧВЫ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ОБЬ-ШЕГАРСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ .....</b>	<b>70</b>
<b>Панин П.Г., Янг Ш., Тимирева С.Н., Калинин П.И., Кононов Ю.М., Филиппова К.Г., Константинов Е.А., Мухаметшина Е.О., Жианг В., Гуо Л., Назаров П.Р. МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЁССОВО-ПОЧВЕННОЙ ФОРМАЦИИ РАЗРЕЗА СТРЕЛИЦА-2017 .....</b>	<b>74</b>
<b>Пивоварова Е.Г., Вепрынцева К.С. ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ В РАЗРАБОТКЕ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПОЧВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ .....</b>	<b>78</b>
<b>Полохин О.В. СОСТОЯНИЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ .....</b>	<b>83</b>
<b>Приходько В.Е. РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ И ПОЧВ ЛЕСОСТЕПИ В ГОЛОЦЕНЕ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЧЕРНОЗЕМЬЕ И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ .....</b>	<b>86</b>
<b>Пшеничников Б.Ф., Пшеничникова Н.Ф. СПЕЦИФИКА ГЕНЕЗИСА БУРОЗЕМОВ НА КРАСНОЦВЕТНЫХ КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ПРИМОРСКИЙ КРАЙ) .....</b>	<b>95</b>
<b>Самофалова И.А. АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЩЕБНЯ В ПРОФИЛЕ И ГЕНЕЗИС БУРОЗЕМОВ (СРЕДНИЙ УРАЛ, ХРЕБЕТ БАСЕГИ) .....</b>	<b>100</b>

<b>Смоленцева Е.Н. РЕГИОНАЛЬНЫЕ И ЗОНАЛЬНО-ПРОВИНЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЧЕРНОЗЁМОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ</b> .....	105
<b>Смоленцев Б.А., Смоленцева Е.Н. СОСТАВ И СТРУКТУРА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТЕРРИТОРИЙ ГУМИДНОГО СЕКТОРА КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ</b> .....	111
<b>Струкова Д.В. ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ЖЕЛТОЗЕМОВ ПРИ ВЕДЕНИИ КУЛЬТУРЫ ЧАЯ (<i>CAMELLIA SINENSIS</i>) В УСЛОВИЯХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ</b> .....	116
<b>Ткаченко А.Н., Ткаченко О.В., Лычагин М.Ю., Котвица М.А. ГЕНЕЗИС И СВОЙСТВА ПОДВОДНЫХ ПОЧВ</b> .....	120
<b>Уманский А.С. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ИЛЛЮВИАЛЬНО-ЖЕЛЕЗИСТЫХ ПОЧВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ</b> .....	122
<b>Устинов М.Т., Елизаров Н.В. РЕГИОНАЛЬНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ</b> .....	126
<b>Чевердин Ю.И., Сауткина М.Ю. ДОКУЧАЕВСКИЙ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫЙ КОМПЛЕКС: ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМОВ</b> .....	130
<b>Чевычелов А.П. СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОГРАФО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ ЯКУТИИ</b> .....	135
<b>Шепелев А.Г. КРИОГЕННОЕ ПОЧВЕННОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ЛЕДОВОГО КОМПЛЕКСА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ, СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ</b> .....	140
<b>Шоба В.Н. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ОСНОВЫ В ЧЕРНОЗЕМАХ</b> .....	145
<b>Шульгина С.В., Азаренок Т.Н., Матыченков Д.В., Матыченкова О.В., Шибут Л.И., Дыдышко С.В. ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА</b> .....	150

## **Секция 2. ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ**

<b>Авдеева Т.Н. АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕЛИОРИРОВАННЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ</b> .....	157
<b>Акатова А.А., Ефремова М.А. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРОФИЛЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ НА ФЛЮВИОГЛЯЦИАЛЬНЫХ ПЕСКАХ</b> .....	162
<b>Акименко Ю.В., Чуварева О.В., Гончарова Е.В. УСТОЙЧИВОСТЬ МИКРОБОЦЕНОЗА ЧЕРНОЗЕМА К ЗАГРЯЗНЕНИЮ АНТИБИОТИКАМИ</b> .....	165
<b>Анциферова О.А. СОСТОЯНИЕ ПОЧВ ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ</b> .....	169
<b>Бажина Н.Л. ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ПОЧВ РАЗНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ</b> .....	171
<b>Ромадова Л.В., Акименко Ю.В., Казеев К.Ш. ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ ФУНГИЦИДОВ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО</b> .....	175
<b>Безкорвайная И.Н., Климченко А.В., Шабалина О.М., Борисова И.В., Кастерин Г.И. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА КРИОГЕННЫХ ПОЧВ НА ГАРЯХ РАЗНОГО ВОЗРАСТА</b> .....	179
<b>Бобрик А.А., Гончарова О.Ю., Петржик Н.М., Матышак Г.В., Рыжова И.М. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА ПОЧВ ВДОЛЬ ТРАНСЕКТЫ ОТ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ДО ЮЖНОЙ ТУНДРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ</b> .....	183
<b>Богатырева Е.Н., Серая Т.М. СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ</b> .....	186
<b>Букин А.В. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ РЕКИ ПЫШМА</b> .....	191
<b>Витковская С.Е. ПРИЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕЛИОРАНТОВ В АГРОЦЕНОЗЕ</b> .....	195
<b>Вишнякова Е.К., Миронычева-Токарева Н.П., Косых Н.П. ПОТЕРИ МАССЫ СФАГНОВЫХ МХОВ ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ НА БОЛОТАХ ЛЕСОСТЕПИ</b> .....	199
<b>Войтехов М.Я. О НЕКОТОРЫХ ФАКТОРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА УЧАСТИЕ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ В ФОРМИРОВАНИИ ТАЁЖНЫХ ПОЧВ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ)</b> .....	201

<b>Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Абдулаева А.С., Ахмедова З.Н.</b> КОНЦЕНТРАЦИЯ И ЗАПАСЫ КАЛИЯ, КАЛЬЦИЯ И ФОСФОРА В БЛОКАХ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ТРАВЯНЫХ ЭКОСИСТЕМ ТЕРСКО-КУМСКОЙ НИЗМЕННОСТИ .....	206
<b>Гашкова Л.П.</b> ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ВИДОВ РАСТЕНИЙ БОЛОТ .....	211
<b>Данилова А.А., Напрасникова Е.В.</b> МИКРОБНЫЕ ПЕЙЗАЖЫ КАК ПОКАЗАТЕЛИ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ .....	215
<b>Дауд Р.М., Астанина Е.А., Шишко Н.Ю., Медведева А.А., Бонадарева Ю.С., Колесников С.И.</b> ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЬЮ НА ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ПОЧВ АРИДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮГА РОССИИ .....	219
<b>Дергачева М.И.</b> ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ .....	222
<b>Долгушин Д.И., Коробова Е.М., Березкин В.Ю., Романов С.Л., Баранчуков В.С., Киров С.С.</b> ЦЕЗИЙ-137 В ПОЧВЕННО-МОХОВОМ ПОКРОВЕ КАК ИНДИКАТОР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В СОПРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ .....	226
<b>Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Мелентьева Н.В.</b> ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПАВОДКОВЫХ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ ВЗВЕСЕЙ И БОЛОТНЫХ ВОД ВЕСЕННЕЕ-ЛЕТНЕГО РАЗЛИВА .....	231
<b>Журавлева М.В., Карчава Ш.К., Кудеевская Е.М., Ажогина Т.Н., Карнаухов А.Ю., Сазыкин И.С., Сазыкина М.А.</b> ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ МЕТОДАМИ БИОТЕСТИРОВАНИЯ .....	236
<b>Заикина В.Н., Околелова А.А., Лапченков А.Г.</b> ПОКАЗАТЕЛИ БИОИНДИКАЦИИ СВЕТЛО-КАШТАНОВЫХ И АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ .....	238
<b>Зуев А.Г.</b> ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ МИКОРИЗНЫХ ГРИБОВ В ЭКОСИСТЕМАХ ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТ .....	243
<b>Иванов Д.Г., Татаринцов Ф.А., Курбатова Ю.А.</b> ПОЧВЕННОЕ ДЫХАНИЕ В ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ .....	246
<b>Иванов И.В.</b> ИЗОТОП <sup>14</sup> C В ГУМУСЕ ЧЕРНОЗЕМОВ .....	251
<b>Казеев Д.К., Федоренко А.Н.</b> ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ ДОЗ ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА НА АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ .....	256
<b>Козлов А.В.</b> ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС МИКРОБНОГО ПУЛА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ДЕГРАДАЦИИ ЦЕОЛИТОВОЙ ПОРОДЫ ХОТЫНЕЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ .....	259
<b>Козлова А.А.</b> ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОЧВ ЮЖНОГО ПРЕДБАЙКАЛЬЯ .....	264
<b>Конарбаева Г.А.</b> ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ГАЛОГЕНОВ В ПОЧВАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ С ПОЗИЦИЙ ЭКОЛОГИИ .....	269
<b>Коронатова Н.Г.</b> ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТОРФОВ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: МАКРОЭЛЕМЕНТЫ И БИТУМИНОЗНЫЕ ВЕЩЕСТВА .....	276
<b>Косых Н.П., Мироньчева-Токарева Н.П., Михайлова Е.В.</b> СТРУКТУРА ЗАПАСОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА И ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ ПЛОСКОБУГРИСТЫХ ТОРФЯНИКОВ .....	280
<b>Куклина С.Л.</b> ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПОЙМЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ И АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ В ДОЛИНЕ РЕКИ БЕЛОЙ (ПРИБАЙКАЛЬЕ) ПРИ ПАСТБИЩНОЙ НАГРУЗКЕ .....	284
<b>Кулагина В.И., Александрова А.Б., Рязанов С.С., Рупова Э.Х.</b> ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН И НЕОБХОДИМОСТЬ СОХРАНЕНИЯ РАЗНООБРАЗИЯ ПОЧВ .....	289
<b>Лесина А.Л., Александров А.А., Бакаева Ю.С., Жадобин А.В.</b> АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ В ПОЧВАХ РОСТОВСКОГО ЗООПАРКА .....	292
<b>Луценко Т.Н., Бурдуковский М.Л., Болдескул А.Г., Шамов В.В., Кожевникова Н.К., Губарева Т.С.</b> БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ УССУРИ ПО ДАННЫМ СОСТАВА ВОДНЫХ ВЫТЯЖЕК И ПОЧВЕННЫХ РАСТВОРОВ .....	294
<b>Макаревич Р.А., Качур А.Н.</b> ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ПОЧВ ПРИМОРСКОГО КРАЯ ПО САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ .....	299



<b>Манафова Ф.А., Гасанова К.М., Асланова Г.Г. ВЛИЯНИЕ БИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРУ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА АБШЕРОНА .....</b>	<b>304</b>
<b>Маркова Л.М. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ САДОВЫХ АГРОЦЕНОЗОВ Г. ЧЕЛЯБИНСКА .....</b>	<b>309</b>
<b>Мартынова Л.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В РЕЖИМЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ В ЛУГОВЫЕ УГОДЬЯ .....</b>	<b>314</b>
<b>Мартынова Н.А. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ ЛАНДШАФТНЫХ КОМПЛЕКСОВ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКОВ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ .....</b>	<b>319</b>
<b>Мартынова Н.А., Пушкарева В.С. ПОЧВЕННО-РЕСУРСНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТОВ Г. ИРКУТСКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ .....</b>	<b>324</b>
<b>Миropyчева-Токарева Н.П., Шибарева С.В. ЭВОЛЮЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЛУГОВ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ .....</b>	<b>329</b>
<b>Мокриков Г.В., Мясникова М.А., Солдатов В.П., Казеев К.Ш. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА НА ЗАПАСЫ ВЛАГИ В ЧЕРНОЗЕМЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ .....</b>	<b>333</b>
<b>Мощенко Д.И., Ткачева М.С., Карапетян Р.Р., Колесников С.И. АНАЛИЗ ФИТОТОКСИЧНОСТИ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА ПОСЛЕ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И НЕФТЬЮ .....</b>	<b>336</b>
<b>Муратова М.Е., Котельникова А.Д., Фастовец И.А., Рогова О.Б., Столбова В.В. ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕОДИМА НА РАСТЕНИЯ ОВСА (<i>AVENA SATIVA</i> L.) И ГОРОХА (<i>PISUM SATIVUM</i> L.) ПРИ ВНЕСЕНИИ В ПОЧВУ .....</b>	<b>339</b>
<b>Некрасова О.А., Учаев А.П. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ НА СРЕДНЕМ И ЮЖНОМ УРАЛЕ .....</b>	<b>342</b>
<b>Одабашян М.Ю., Трушков А.В., Казеев К.Ш. ВЛИЯНИЕ СТЕПНОГО ПОЖАРА НА АКТИВНОСТЬ ПОЧВЕННЫХ ДЕГИДРОГЕНАЗ .....</b>	<b>345</b>
<b>Остроухова Е.Г., Сысо А.И. СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА-<i>MATRICARIA CHAMOMILLA</i> L. ....</b>	<b>349</b>
<b>Парамонова Т.А., Парамонов С.Г., Черногаева Г.М. ФОНОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПРИОРИТЕТНЫХ ЭКОТОКСИКАНТОВ В ПОЧВАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА .....</b>	<b>354</b>
<b>Пахненко Е.П., Гунина Е.А., Мерзлая Г.Е., Костина Н.В. АГРОХИМИЧЕСКИЕ, САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСВ И КОСПОСТОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. МОСКВЫ, УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ .....</b>	<b>359</b>
<b>Полторацкая Т.А., Приходько В.Д., Пименова А.Е., Казеев К.Ш. ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В КОРИЧНЕВЫХ ПОЧВАХ АБРАУССКОГО ПОЛУОСТРОВА ПРИ АНТРОПОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ .....</b>	<b>364</b>
<b>Сапаров А.С., Шарыпова Т.М., Сапаров Г.А. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА АРИДНОЙ ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ .....</b>	<b>367</b>
<b>Середина В.П., Носова М.В. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ ПОЙМЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЬЮ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ) .....</b>	<b>372</b>
<b>Сиромля Т.И. ВЛИЯНИЕ АЭРОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ .....</b>	<b>377</b>
<b>Собакин П.И. РАДИОНУКЛИДЫ В МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВАХ ЯКУТИИ .....</b>	<b>382</b>
<b>Солдатов В.П., Приходько В.Д., Пименова А.Е., Ермолаева О.Ю., Казеев К.Ш. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОСЛЕЛЕСНЫХ ПОЧВ СРЕДНЕГОРИЙ АДЫГЕИ .....</b>	<b>387</b>
<b>Спирина В.З. СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В НЕКОТОРЫХ ПОЧВАХ ОКРЕСТНОСТЕЙ ГОРОДА ТОМСКА .....</b>	<b>391</b>
<b>Султанова Н.А., Юсифова М.М. ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ АЗЕРБАЙДЖАНА .....</b>	<b>396</b>
<b>Тимофеева Я.О. ХАРАКТЕРИСТИКА ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ ПОЧВ ТИХООКЕАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ .....</b>	<b>400</b>
<b>Титлянова А.А. РАБОТЫ СТАЦИОНАРА КАРАЧИ, СОЗДАННОГО ИНСТИТУТОМ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ СО АН СССР, ПО ТЕМАТИКЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ (МБП) .....</b>	<b>404</b>

<b>Трушков А.В., Одабашян М.Ю., Казеев К.Ш. ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АКТИВНОГО УГЛЕРОДА В ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ЗАЛЕЖНОГО ПРОЦЕССА .....</b>	<b>408</b>
<b>Учаев А.П., Дергачева М.И., Некрасова О.А., Бажина Н.Л. ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИТУАЦИИ В СРЕДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ .....</b>	<b>411</b>
<b>Фастовец И.А., Котельникова А.Д., Рогова О.Б., Столбова В.В. ПРОЯВЛЕНИЯ ГЕНОТОКСИЧНОСТИ ЛАНТАНА, ЦЕРИЯ И НЕОДИМА В РАСТВОРАХ И ПОЧВЕ .....</b>	<b>417</b>
<b>Хасанова Р.Ф., Суюндуков Я.Т., Семенова И.Н., Рафикова Ю.С., Сингизова Г.Ш. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В САДОВО-ОГОРОДНЫХ ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....</b>	<b>421</b>
<b>Хуторянина И.В., Твердохлебова Т.И. ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ ПОЧВ ПО ПАРАЗИТОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ .....</b>	<b>425</b>
<b>Чевычелов А.П., Кузнецова Л.И. ПОСТПИРОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ ЯКУТИИ .....</b>	<b>427</b>
<b>Черникова М.П., Казеев К.Ш. ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОРИЧНЕВЫХ ПОЧВ ЗАПОВЕДНИКА УТРИШ .....</b>	<b>432</b>
<b>Черникова Н.П., Федоренко А.Г., Манджиева С.С. ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ И ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОРНЯ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ МЕДИ .....</b>	<b>435</b>
<b>Чернов Т.И., Тхакахова А.К., Железова А.К., Бгажба Н.А. ЧИСЛЕННОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ В ЦЕЛИННЫХ ПОЧВАХ ТРОПИЧЕСКИХ ЛЕСОВ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА .....</b>	<b>439</b>
<b>Чернова Н.А., Никифоров А.Н. ИЗМЕНЕНИЯ ГЛУБОКОПОДЗОЛЕННЫХ ПОЧВ ПИХТАРНИКОВ В ОЧАГАХ РАЗМНОЖЕНИЯ УССУРИЙСКОГО ПОЛИГРАФА .....</b>	<b>443</b>
<b>Чертко Н.К., Карпиченко А.А., Семенюк А.С. ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ УРБОЛАНДШАФТОВ БЕЛАРУСИ .....</b>	<b>446</b>
<b>Чувараева О.В., Гончарова Е.В., Акименко Ю.В. УСТОЙЧИВОСТЬ ФЕРМЕНТОВ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО К ЗАГРЯЗНЕНИЮ АНТИБИОТИКАМИ .....</b>	<b>450</b>
<b>Юдина Е.В. РОЛЬ ОТДЕЛЬНЫХ ПОЧВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (Zn, Cu, Pb, Cd) В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА АБАКАНА) .....</b>	<b>453</b>
<b>Якутин М.В., Андриевский В.С. ФОРМИРОВАНИЕ ЗООМИКРОБИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ В ЮЖНОЙ ТУВЕ .....</b>	<b>457</b>

*Научное издание*

**ПОЧВЫ В БИОСФЕРЕ**

**Сборник материалов Всероссийской научной конференции  
с международным участием, посвященной 50-летию  
Института почвоведения и агрохимии СО РАН**

**10–14 сентября 2018 г., г. Новосибирск**

**ЧАСТЬ I**

*Издание подготовлено в авторской редакции*

Подписано к печати 17.08.2018 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.

Бумага для офисной техники. Гарнитура Times.

Усл. печ. л. 56,4.

Тираж 250 экз. Заказ № 3332.

Отпечатано на оборудовании

Издательского Дома

Томского государственного университета

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Тел. 8(382-2)-52-98-49

Сайт: <http://publish.tsu.ru>; E-mail: [rio.tsu@mail.ru](mailto:rio.tsu@mail.ru)

ISBN 978-5-94621-735-4



9 785946 217354