

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.95-106>

УДК 631.445.9:631.452:631.811.94

Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистых почв под действием хромового загрязнения и рекультивационных мероприятий© 2023. А. В. Леднев¹✉, А. В. Ложкин¹, Г. А. Поздеев²¹ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация,²ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация

В условиях Удмуртской Республики проведены полевые эксперименты (2017-2021 гг.) по ремедиации агродерново-подзолистой суглинистой почвы (albeluvisols) с высоким уровнем загрязнения хромом (внесение 500 мг д. в./кг почвы). Для снижения степени подвижности этого тяжелого металла в почве использовались как химические, так и физико-химические механизмы. В качестве мелиоративных добавок изучали мелиоранты и удобрения (известняковая и фосфоритная мука, суперфосфат, гумат калия, торф, цеолит) в различных дозах. В результате проведенных исследований установлено, что все мелиоративные добавки не только обусловили резкое снижение подвижности хрома на 40-65 %, но и оказали положительное влияние на агрохимические показатели загрязнённой почвы. Характер и параметры этого влияния определялись их химическим составом, дозой внесения и периодом, прошедшим после внесения. Известняковая мука статистически достоверно снизила почвенную кислотность в загрязнённой почве (на 1,21-3,03 ед. рН_{KCl}) и увеличила сумму обменных оснований (в 1,7-6,5 раза). Фосфоритная мука (в 2,1-9,1 раз) и суперфосфат (на 13-43 %) увеличили в почве содержание подвижного фосфора, торф – органического вещества (на 0,28-1,47 абс. %), цеолит – сумму обменных оснований (на 1,4-9,8 ммоль/100 г, или 12-239 %). Положительное действие мелиоративных добавок, особенно их повышенных доз, прослеживалось в течение всех пяти лет наблюдений, что позволяет их рекомендовать в качестве перспективных мелиорантов для восстановления плодородия дерново-подзолистых почв, загрязнённых хромом.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, хром, ремедиация, мелиоративные добавки, агрохимические показатели**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН» (тема № 1021032424706-4-4-1.1).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.**Для цитирования:** Леднев А. В., Ложкин А. В., Поздеев Г. А. Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистых почв под действием хромового загрязнения и рекультивационных мероприятий. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):95-106. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.95-106>

Поступила: 21.12.2022

Принята к публикации: 08.02.2022

Опубликована онлайн: 27.02.2022

Changes in the agrochemical parameters of sod-podzolic soils under the influence of chromium pollution and recultivation measures© 2023. Andrey V. Lednev¹✉, Andrey V. Lozhkin¹, Gennadiy A. Pozdeev²¹Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russian Federation,²Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russian Federation

In the conditions of the Udmurt Republic, field experiments (2017-2021) were carried out on the remediation of agro-podzolic loamy soil (albeluvisols) with a high level of chromium contamination (application of 500 mg a.i./kg of soil). Both chemical and physicochemical mechanisms have been used to reduce the degree of mobility of this heavy metal in soil. Ameliorants and fertilizers (limestone and phosphate rock, superphosphate, potassium humate, peat, zeolite) in various doses were studied as ameliorative additives. Various doses of ameliorants and fertilizers were studied as ameliorative additives: limestone and phospharite meal, superphosphate, potassium humate, peat and zeolite. As a result of the research, it was found that all ameliorative additives not only caused a sharp decrease in the mobility of chromium by 40-65 %, but also had a positive effect on the agrochemical parameters of the contaminated soil. The nature and parameters of this influence were determined by their chemical composition, the rate of application, and the period that passed after the application. Limestone

flour statistically significantly reduced soil acidity in contaminated soil (by 1.21-3.03 pH_{KCl} units) and increased the total of absorbed bases by 1.7-6.5 times. Phospharite meal (by 2.1-9.1 times) and superphosphate (by 13-43 %) increased the mobile phosphorus content in the soil; peat increased the organic matter content (by 0.28-1.47 abs.%); zeolite increased the total exchangeable bases by 1.4-9.8 mmol/100g or by 12-239 %. The positive effect of these ameliorative additives, especially their increased doses, was traced during all five years of observation, what allows them to be recommended as promising ameliorants for restoring the fertility of soddy-podzolic soils contaminated with chromium.

Keywords: heavy metals, chromium, remediation, ameliorative additives, agrochemical indicators

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 1021032424706-4-4-1.1).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Lednev A. V., Lozhkin A. V., Pozdeev G. A. Changes in the agrochemical parameters of sod-podzolic soils under the influence of chromium pollution and recultivation measures. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):95-106. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.95-106>

Received: 21.12.2022

Accepted for publication: 08.02.2023

Published online: 27.02.2023

Одним из негативных последствий индустриального развития современного общества является резкое возрастание техногенного воздействия на почвенный покров, которое приводит к его загрязнению [1, 2]. Из многочисленных поллютантов, попадающих тем или иным способом в почву, на особом месте находятся тяжёлые металлы (ТМ). Это связано с тем, что они являются самыми распространёнными и очень опасными загрязнителями, а почвы, загрязнённые ТМ, наиболее сложно рекультивировать. Тяжёлые металлы не только снижают продуктивность биоценозов, но и резко ухудшают их качественные показатели, накапливаясь, в том или ином количестве, в растениеводческой продукции [3, 4]. Эта продукция по пищевой цепочке попадает в организм человека и вызывает многочисленные заболевания, которые резко снижают его продолжительность жизни [5, 6].

Одним из наиболее распространённых и опасных тяжёлых металлов является хром. Только в Удмуртской Республике, типичном регионе Европейской части России, доля почв с повышенным и высоким уровнем его содержания составляет 24,7 тыс. га (1,8 % обследованной территории) [7].

Наиболее значительные площади земель, загрязнённых ТМ, расположены вокруг крупных индустриальных центров, где проживает основная часть населения РФ, и поэтому рекультивация этих территорий имеет не только экологическое, но и социальное значение, что придаёт повышенную актуальность научным исследованиям в этой области. Эффективность любой разрабатываемой технологии ремедиации определяется комплексом показателей, она должна не только гарантировать снижение степени токсичности поллютантов до безопасного для

живых организмов санитарно-гигиенического уровня, но и обеспечивать воспроизводство плодородия загрязнённых почв, способствовать повышению урожайности сельскохозяйственных культур и быть экономически целесообразной.

Цель исследований – изучить изменение агрохимических показателей дерново-подзолистых почв под воздействием хромового загрязнения и технологических приёмов по ремедиации.

Научная новизна. Впервые в условиях Удмуртской Республики получены данные по воздействию технологических приёмов ремедиации на воспроизводство плодородия дерново-подзолистых почв, загрязнённых хромом и используемых в сельскохозяйственном производстве.

Материал и методы. Для определения эффективности изучаемых технологических приёмов ремедиации почв, загрязнённых хромом, в 2017 году на опытном поле ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ в Воткинском районе Удмуртской Республики был заложен многолетний полевой опыт. Почва – агродерново-подзолистая среднесуглинистая на покровных глинах и тяжёлых суглинках. До закладки опыта она характеризовалась следующими показателями: содержание подвижного фосфора – 130 мг/кг, обменного калия – 125 мг/кг почвы, гумуса – 1,86 %, показатель рН_{KCl} – 5,0; гидролитическая кислотность – 3,19 ммоль/100 г; сумма обменных оснований – 13,7 ммоль/100 г. Содержание кислоторастворимых (псевдоваловых) форм хрома до закладки опыта – 15,8 мг/кг почвы. Загрязнение почвы в опыте выполнено водорастворимой солью – сульфатом хрома (Cr₂(SO₄)₃) в дозе 500 мг д. в. (Cr)/кг, что соответствует высокому уровню загрязнения.

Сульфат хрома растворяли в воде и равномерно вносили по площади делянки, с последующим перемешиванием пахотного слоя почвы на глубину 24 см. В качестве мелиоративных добавок испытывали следующие мелиоранты и удобрения: известняковую (доломитовую) муку (ГОСТ 14050-93); фосфоритную муку класса А с содержанием P_2O_5 30 % (ГОСТ 5716-74); суперфосфат простой гранулированный (ГОСТ 5956-78) с содержанием P_2O_5 19 %; торф низинный сильной степени разложения (60-70 %) и реакцией среды, близкой к нейтральной (pH_{KCl} 5,9), с влажностью 70 %; цеолит Хотынецкого месторождения (содержание минералов группы клиноптилолита 50...60 %); гумат калия «Живая капля» (препарат фабричного производства).

Размер опытной делянки 2 м². Опыт заложен в 4-кратной повторности согласно общепринятым методикам. Расположение делянок систематическое со смещением. Все агротехнические работы на опыте проводили вручную.

Влияние мелиоративных добавок на химические и физико-химические свойства загрязнённой почвы изучали при следующем чередовании культур: викоовсяная смесь (2017 г.); ячмень (2018 г.); овес (2019 г.); викоовсяная смесь (2020 г.); ячмень (2021 г.).

Для экстракции из почв подвижных форм Cr^{3+} был использован ацетатно-аммонийный буферный раствор (ААБ – pH_{KCl} 4,8). Данный экстрагент нашел широкое распространение при определении экологического состояния загрязнённых почв. ААБ позволяет экстрагировать специфически адсорбированную фракцию поллютантов состоящую из: 1) водорастворимых соединений; 2) обменных катионов; 3) катионов ТМ, специфически сорбированных различными почвенными компонентами [8].

Содержание хрома в почвах находили методом атомно-абсорбционной спектроскопии в пламени¹. Определение агрохимических показателей почв проведено по общепринятым методикам и государственным стандартам: подвижный фосфор и обменный калий по ГОСТ 26207-91; обменная кислотность по ГОСТ 26483-85; содержание органического вещества по ГОСТ 26213-91. Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа².

¹Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 31 с.

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с

Результаты и их обсуждение. Одним из основных показателей дерново-подзолистых почв, от которых зависит уровень их плодородия, является кислотность почвы. Она не только определяет степень комфортности произрастания растений в почве, но и оказывает непосредственное влияние на растворимость и биодоступность различных химических элементов, в том числе элементов минерального питания и различных токсикантов. При уменьшении кислотности значительно снижается степень растворимости Al, Fe, Mn, B, Pb, Zn и др. и увеличивается – Mo [9, 10]. При реакции, близкой к нейтральной, наиболее благоприятно протекает фосфатный и азотный режимы почвы [11]. Относительно влияния кислотности на степень растворения хрома имеются противоречивые данные: в исследованиях А. В. Алексеева [9] отмечено повышение его растворимости по мере снижения кислотности, а в наших опытах выявлена противоположная тенденция [12].

Влияние хромового загрязнения и мелиоративных добавок на величину pH_{KCl} показано в таблице 1. Для закладки опыта была выбрана среднекислая почва с показателем pH_{KCl} , равным 4,96 ед. За пятилетний период наблюдений изменение этого показателя происходило в пределах статистической ошибки (от 4,96 до 5,09 ед.), лишь в 2018 году он снижался до 4,21 ед. Загрязнение почвы в 2017 году гидролитически кислой солью сульфатом хрома в дозе 500 мг д.в. (Cr)/кг привело к значительному подкислению почвы – до 3,71 ед., что соответствовало градации «очень сильно кислая почва». Такая высокая почвенная кислотность сохранялась весь период наблюдений и являлась одной из причин резкого снижения урожайности в данном варианте [12]. Внесение известняковой муки позволило довести почвенную кислотность загрязнённой почвы до нейтральной реакции: доза 0,8 кг/м² – до 6,04 ед.; доза 1,2 кг/м² – до 6,74 ед. pH_{KCl} . Если в случае внесения высокой дозы извести (1,2 кг/м²), эта реакция сохранялась практически весь пятилетний период наблюдений, то доза 0,8 кг/м² действовала менее стабильно, показатель pH_{KCl} периодически снижался до градации «близкая к нейтральной». Смещение реакции солевой вытяжки в щелочную сторону под действием известняковой муки в целом по опыту колебалось от 1,21 до 3,03 ед. pH_{KCl} .

Таблица 1 – Изменение кислотности в почвах, загрязнённых хромом, под действием мелиоративных добавок, ед. рН_{КСЛ} /
Table 1 – Change in acidity in chromium-contaminated soils under the action of ameliorative additives, units рН_{КСЛ}

Вариант / Variant	Срок взятия образцов / Timing of sampling											
	26.08.2017		02.09.2018		21.08.2019		29.08.2020		26.08.2021			
	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation		
Контроль / Control	4,96	-	4,21	-	4,98	-	5,09	-	5,01	-		
Контроль + Cr, 500 мг/кг – фон / Control + Cr, 500 mg/kg – background	3,71	-	3,71	-	4,33	-	4,49	-	4,07	-		
Фон + Pф, 100 г/м ² / Background + Pf, 100 g/m ²	3,91	0,20	3,91	0,20	4,29	-0,04	4,41	-0,08	4,23	0,16		
Фон + Pф, 150 г/м ² / Background + Pf, 150 g/m ²	4,07	0,36	4,07	0,36	4,61	0,28	4,55	0,06	4,44	0,37		
Фон + Pс, 9 г/м ² / Background + Ps, 9 g/m ²	3,73	0,02	3,73	0,02	4,22	-0,11	4,54	0,05	4,1	0,03		
Фон + Pс, 12 г/м ² / Background + Ps, 12 g/m ²	3,66	-0,05	3,66	-0,05	4,26	-0,07	4,23	-0,26	4,11	0,04		
Фон + Г.к., 3 г/м ² / Background + Ph, 3 g/m ²	3,69	-0,02	3,69	-0,02	4,24	-0,09	4,64	0,15	4,20	0,13		
Фон + Г.к., 4 г/м ² / Background + Ph, 4 g/m ²	3,72	0,01	3,72	0,01	4,41	0,08	4,62	0,13	4,22	0,15		
Фон + И.м., 0,8 кг/м ² / Background + Lf, 0,8 kg/m ²	6,04	2,33	5,50	1,79	5,54	1,21	6,25	1,76	5,75	1,68		
Фон + И.м., 1,2 кг/м ² / Background + Lf, 1,2 kg/m ²	6,74	3,03	6,74	3,03	6,50	2,17	6,79	2,30	6,20	2,13		
Фон + Торф, 5 кг/м ² / Background + Peat, 5 kg/m ²	4,29	0,58	4,10	0,39	4,64	0,31	4,73	0,24	5,68	1,61		
Фон + Торф, 10 кг/м ² / Background + Peat, 10 kg/m ²	4,67	0,96	4,86	1,15	5,16	0,83	4,86	0,37	5,93	1,86		
Фон + Цеолит, 5 кг/м ² / Background + Zeolite, 5 kg/m ²	3,75	0,04	4,75	1,04	4,11	-0,22	4,37	-0,13	5,20	0,13		
Фон + Цеолит, 10 кг/м ² / Background + Zeolite, 10 kg/m ²	3,78	0,07	4,89	1,18	4,21	-0,12	4,71	0,22	4,29	0,22		
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	-	0,59	-	0,73	-	0,68	-	0,83	-	0,70		

Примечания: Контроль – незагрязнённая почва; Pф – фосфоритная почва; Pс – суперфосфат; Г.к. – гумат калия; И.м. – известняковая мука /
Notes: Control – uncontaminated soil; Pф – phosphorite flour; Pс – super-phosphate; Ph – potassium humate; Lf – limestone flour

Из других изучаемых мелиоративных добавок почвенную кислотность уменьшал низинный торф, цеолит и фосфоритная мука, но это действие, в основном, проявлялось только на уровне положительной тенденции, лишь в отдельные периоды доказывалось статистически. Снижение почвенной кислотности этими мелиоративными добавками объясняется присутствием в них того или иного количества карбонатов кальция.

Другим важнейшим показателем, по которому оценивают уровень плодородия дерново-подзолистых почв, является сумма обменных оснований. Именно она определяет буферную способность почв или их устойчивость к различным внешним воздействиям, в том числе к загрязнению почв тяжёлыми металлами. До закладки опыта почва характеризовалась средней величиной этого показателя (для почв подзолистого типа) – 11,5 ммоль/100 г, и за период наблюдений он колебался в достаточно больших пределах (от 9,5 до 16,0 ммоль/100 г), но не выходил из градаций среднего уровня (табл. 2). Загрязнение почвы сульфатом хрома вызвало резкое снижение в ней суммы обменных оснований, особенно значительное в первые три года (на 33,7-64,3 %), в последствии разница сократилась и составляла 12,9-22,5 %. Данное снижение обусловлено повышенной гидролитической кислотностью, использованной для загрязнения соли. Внесение известняковой муки, закономерно, привело к увеличению показателя суммы обменных оснований: в первый год доза 0,8 кг/м² – в 3,5 раза, доза 1,2 кг/м² – в 6,5 раза. Известняковая мука обладала длительным последствием, даже на пятый год наблюдений она обеспечила его повышение в 1,7 (доза 0,8 кг/м²) – 2,6 (доза 1,2 кг/м²) раза. Данная закономерность общеизвестна и отражена в большом количестве работ [12, 13, 14]. Кроме известняковой муки, показатель суммы обменных оснований повысился, хотя и не так значительно, внесение в загрязнённую почву высоких доз фосфоритной муки (на 87,9 %), торфа (на 105,2 %) и цеолита (91,4 %). Механизмы действия этих мелиоративных добавок различны. Если фосфоритная мука повышала этот показатель за счет присутствия в ней в качестве примеси того или иного количества карбонатов, то действие торфа и цеолита

основано на повышении поглотительной способности почв за счет присутствия в их составе большого количества органических (торф) или минеральных (цеолит) коллоидных частиц. За счет этой фракции данные мелиоранты обладали очень большой ёмкостью катионного обмена: цеолит – 92 ммоль/100 г, торф – 120 ммоль/100 г. Необходимо отметить, что наиболее значительное действие этих мелиорантов отмечалось в первые 2-3 года, а впоследствии проявлялось, в основном, только на уровне положительной тенденции.

Способность почвы противостоять изменениям окружающей среды зависит и от другого важнейшего показателя – содержания в почве гумуса, а в более широком аспекте – содержания органического вещества. Гумус является интегральным показателем плодородия, именно по нему проводят общую оценку почв. Его величина достаточно стабильна, он относится к консервативным показателям и определяет, в первую очередь, физические и физико-химические свойства почвы. В состав органического вещества, кроме гумуса, входят растительные и животные остатки различной степени разложения. Эта часть органического вещества более лабильна, и она оказывает влияние на химические и биологические свойства почв. Содержание органического вещества в почве в нашем опыте определялось тремя переменными: содержанием гумуса; внесёнными мелиоративными добавками; количеством пожнивных остатков. Так как количество пожнивных остатков во всех вариантах опыта было примерно одинаковым, и его основная часть (корни и солома) при подготовке почвенных образцов к анализу была механически отобрана, то этот показатель можно принять за общий фон и не учитывать при анализе полученных результатов.

В пахотном слое незагрязнённой почвы (контроль) содержание органического вещества было представлено, в основном, гумусом. Этот показатель за весь период наблюдений изменялся незначительно и колебался от 1,49 до 1,77 % (табл. 3), что характеризует гумусированность как среднюю для зональных дерново-подзолистых почв³. Загрязнение почвы сульфатом хрома не оказало статистически достоверного влияния на этот показатель.

³Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Таблица 2 – Изменение показателя «сумма обменных оснований» в почвах, загрязнённых хромом, под действием мелиоративных добавок, ммоль/100 г / Table 2 – Change in the indicator of the sum of exchangeable bases in soils contaminated with chromium under the influence of ameliorative additives, mmol/100 g

Вариант / Variant	Срок взятия образцов / Timing of sampling											
	26.08.2017		02.09.2018		21.08.2019		29.08.2020		26.08.2021			
	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation		
Контроль / Control	11,5	-	11,5	-	9,5	-	16,0	-	13,2	-		
Контроль + Cr, 500 мг/кг – фон / Control + Cr, 500 mg/kg – background	5,8	-	4,1	-	6,3	-	12,4	-	11,5	-		
Фон + Pф, 100 г/м ² / Background + Pf, 100 g/m ²	9,8	4,0	8,1	4,0	7,5	1,2	14,1	1,7	11,9	0,4		
Фон + Pф, 150 г/м ² / Background + Pf, 150 g/m ²	10,9	5,1	9,2	5,1	9,7	3,4	19,0	6,6	12,2	0,7		
Фон + Pс, 9 г/м ² / Background + Ps, 9 g/m ²	6,0	0,2	4,3	0,2	5,7	-0,6	12,5	0,1	11,8	0,3		
Фон + Pс, 12 г/м ² / Background + Ps, 12 g/m ²	5,8	0,0	3,8	-0,3	5,9	-0,4	12,9	0,5	11,8	0,3		
Фон + Г.к., 3 г/м ² / Background + Ph, 3 g/m ²	5,8	0,0	4,0	-0,1	5,1	-1,2	11,8	-0,6	11,9	0,4		
Фон + Г.к., 4 г/м ² / Background + Ph, 4 g/m ²	5,9	0,1	4,1	0,0	6,1	-0,2	14,1	1,7	12,0	0,5		
Фон + И.м., 0,8 кг/м ² / Background + Lf, 0,8 kg/m ²	20,1	14,3	17,6	13,5	15,4	9,1	20,4	8,0	19,9	8,4		
Фон + И.м., 1,2 кг/м ² / Background + Lf, 1,2 kg/m ²	37,6	31,8	37,6	33,5	25,1	18,8	28,5	16,1	29,5	18,0		
Фон + Торф, 5 кг/м ² / Background + Peat, 5 kg/m ²	9,9	4,1	7,9	3,8	8,9	2,6	15,4	3,0	13,3	1,8		
Фон + Торф, 10 кг/м ² / Background + Peat, 10 kg/m ²	11,9	6,1	8,4	4,3	10,0	3,7	15,8	3,4	14,6	3,1		
Фон + Цеолит, 5 кг/м ² / Background + Zeolite, 5 kg/m ²	8,3	2,5	9,3	5,2	6,6	0,3	13,9	1,5	12,9	1,4		
Фон + Цеолит, 10 кг/м ² / Background + Zeolite, 10 kg/m ²	11,1	5,3	13,8	9,7	8,2	1,9	16,0	3,6	13,7	2,2		
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	-	4,3	-	4,6	-	5,5	-	4,0	-	2,9		

Примечания: Контроль – незагрязнённая почва; Pф – фосфоритная мука; Pс – суперфосфат; Г.к. – гумат калия; И.м. – известняковая мука / Notes: Control – uncontaminated soil; Pф – phosphorite flour; Pс – super-phosphate; Ph – potassium humate; Lf – limestone flour

Таблица 3 – Изменение содержания органического вещества в почвах, загрязнённых хромом, под действием мелиоративных добавок, % /
Table 3 – Change in the content of organic matter in soils contaminated with chromium under the influence of ameliorative additives, %

Вариант / Variant	Срок взятия образцов / Timing of sampling											
	26.08.2017		02.09.2018		21.08.2019		29.08.2020		26.08.2021			
	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation		
Контроль / Control	1,77	-	1,77	-	1,62	-	1,49	-	1,70	-		
Контроль + Cr, 500 мг/кг – фон / Control + Cr, 500 mg/kg – background	1,75	-	1,75	-	1,83	-	1,47	-	1,69	-		
Фон + Рф, 100 г/м ² / Background + Pf, 100 g/m ²	1,63	-0,12	1,63	-0,12	1,93	0,10	1,48	0,01	1,51	-0,17		
Фон + Рф, 150 г/м ² / Background + Pf, 150 g/m ²	1,73	-0,02	1,73	-0,02	1,72	-0,11	1,46	-0,01	1,54	-0,15		
Фон + Рс, 9 г/м ² / Background + Ps, 9 g/m ²	1,69	-0,06	1,69	-0,06	1,75	-0,08	1,38	-0,09	1,59	-0,10		
Фон + Рс, 12 г/м ² / Background + Ps, 12 g/m ²	1,75	0,00	1,65	-0,10	1,80	-0,03	1,44	-0,03	1,51	-0,17		
Фон + Г.к., 3 г/м ² / Background + Ph, 3 g/m ²	1,68	-0,07	1,68	-0,07	1,66	-0,18	1,30	-0,17	1,48	-0,20		
Фон + Г.к., 4 г/м ² / Background + Ph, 4 g/m ²	1,68	-0,07	1,68	-0,07	1,64	-0,19	1,44	-0,03	1,60	-0,08		
Фон + И.м., 0,8 кг/м ² / Background + Lf, 0,8 kg/m ²	1,88	0,13	1,68	-0,07	1,81	-0,03	1,53	0,06	1,57	-0,12		
Фон + И.м., 1,2 кг/м ² / Background + Lf, 1,2 kg/m ²	1,99	0,25	1,69	-0,06	1,67	-0,16	1,56	0,09	1,56	-0,12		
Фон + Торф, 5 кг/м ² / Background + Peat, 5 kg/m ²	2,26	0,52	2,54	0,79	2,20	0,36	1,87	0,40	1,97	0,28		
Фон + Торф, 10 кг/м ² / Background + Peat, 10 kg/m ²	3,21	1,47	2,96	1,22	2,26	0,42	2,02	0,55	2,12	0,44		
Фон + Цеолит, 5 кг/м ² / Background + Zeolite, 5 kg/m ²	1,75	0,0	1,75	0,0	1,76	-0,07	1,52	0,05	1,74	0,05		
Фон + Цеолит, 10 кг/м ² / Background + Zeolite, 10 kg/m ²	1,80	0,05	1,71	-0,04	1,70	-0,13	1,53	0,06	1,62	-0,06		
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	-	0,24	-	0,35	-	0,30	-	0,23	-	0,20		

Примечания: Контроль – незагрязнённая почва; Рф – фосфоритная мука; Рс – суперфосфат; Г.к. – гумат калия; И.м. – известняковая мука /
Notes: Control – uncontaminated soil; Pf – phosphorite flour; Ps – super-phosphate; Ph – potassium humate; Lf – limestone flour

В нашем опыте повышение буферной способности почвы с помощью непосредственного увеличения содержания органического вещества изучалось на примере использования высоких доз торфа. В опыте подтвердилась эффективность этого агроприёма: внесение торфа в дозе 5 кг/м² увеличило этот показатель на 0,28-0,79 абс.%, или на 16,6-45,1 отн.%, в дозе 10 кг/м² – на 0,42-1,47 абс.%, или на 30,0-84,0 отн.%. Такое воздействие торфа на почву общеизвестно и связано с высоким содержанием в его составе гумусовых веществ [15].

Внесение всех остальных мелиоративных добавок не оказало статистически достоверного влияния на содержание органического вещества в загрязнённой почве.

Оценку почв по обеспеченности элементами минерального питания проводят по содержанию в ней подвижного фосфора и обменного калия. Влияние мелиоративных добавок на содержание подвижного фосфора показано в таблице 4.

Данные таблицы 4 свидетельствуют, что содержание подвижного фосфора в почве опытного участка за весь период наблюдений колебалось в интервале от 115 до 150 мг/кг и относилось к группе «повышенное содержание», что является благоприятным для зональных почв. Загрязнение агродерново-подзолистой почвы сульфатом хрома привело к значительному (на 34-62 %) снижению в ней содержания подвижных форм фосфора за счёт образования в почве нерастворимого в воде соединения – CrPO₄.

Влияние мелиоративных добавок на содержание подвижного фосфора в загрязнённой почве определялось их химическим составом и дозой внесения. Наибольшее действие на этот показатель, закономерно, оказало внесение фосфорсодержащих мелиорантов, таких как фосфоритная мука и суперфосфат. Внесение фосфоритной муки в дозе 100 г/м² увеличило его 2,1-6,1 раза, в дозе 150 г/м² – в 3,5-9,1 раза. Эффективность действия данного мелиоранта в течение периода наблюдений постепенно уменьшалось, но даже на пятый год после его внесения было хорошо выражено,

Действие суперфосфата на содержание подвижного фосфора в почве было менее выражено и не всегда доказывалось статистически. Так, доза его внесения 9 г/м² увеличила этот показатель на 13-20 мг/кг, или на 12,9-21,5 %, а доза внесения 12 г/м² – на 19-40 мг/кг, или на 34,5-43,0 %.

Влияние остальных мелиоративных добавок на содержание подвижного фосфора статистически не доказано.

Изменение содержания обменного калия в почве показано в таблице 5.

В отличие от подвижного фосфора, его содержание в почве в течение периода наблюдений подвергалось более значительным колебаниям по годам. Даже в варианте без загрязнения и внесения мелиорантов его величина изменялась от 68 мг/кг (низкое содержание) до 191 мг/кг (высокое содержание), что, по-видимому, связано с различными погодными условиями вегетационных периодов. Загрязнение агродерново-подзолистой почвы Cr₂(SO₄)₃ привело к закономерному резкому увлечению в ней содержания обменного калия, особенно в первые два года (на 280-281 мг/кг), и даже на пятый год превышение составляло 125 мг/кг.

Изучаемые мелиоративные добавки не оказали статистически достоверного влияния на этот показатель, хотя по данным других наших опытов, при более низком содержании калия в почве внесение цеолита способствует его увеличению на 16-44 % [16].

Внесение всех изучаемых мелиоративных добавок позволило резко и статистически достоверно снизить в загрязнённых почвах содержание подвижных форм хрома, что подтверждает правильность их выбора для исследований. Характер их действия на этот показатель достаточно сильно колебался в течение периода наблюдений и зависел от вида мелиоративных добавок, дозы внесения и периода, прошедшего после их внесения. В первый год наблюдений наибольшее действие на содержание подвижных форм хрома оказало внесение в почву известняковой муки в дозе 12 т/га (снижение составило 225 мг/кг, или 63,7 %) и цеолита в дозе 100 т/га (снижение – 186 мг/кг, или 52,7 %). Эти же мелиоративные добавки проявили себя и в последствии, даже на пятый год после их внесения они обусловили снижение содержания подвижных форм хрома на 56 мг/кг (50,4 %) и 72 мг/кг (64,9 %) соответственно [12].

Выводы.

1. Все изучаемые мелиоративные добавки оказали положительное влияние на агрохимические показатели агродерново-подзолистой почвы, загрязнённой хромом. Характер и параметры этого влияния определялись их химическим составом, дозой внесения и периодом, прошедшим после внесения.

Таблица 4 – Изменение содержания подвижного фосфора в почвах, загрязнённых хромом, под действием мелиоративных добавок, мг/кг /
Table 4 – Changes in the content of mobile phosphorus in soils, contaminated with chromium, under the action of ameliorative additives, mg/kg

Вариант / Variant	Срок взятия образцов / Timing of sampling											
	26.08.2017		02.09.2018		21.08.2019		29.08.2020		26.08.2021			
	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation		
Контроль / Control	120	-	120	-	115	-	150	-	141	-		
Контроль + Cr, 500 мг/кг – фон / Control + Cr, 500 mg/kg – background	55	-	55	-	43	-	101	-	93	-		
Фон + Рф, 100 г/м ² / Background + Pf, 100 g/m ²	315	260	335	280	200	157	214	113	215	122		
Фон + Рф, 150 г/м ² / Background + Pf, 150 g/m ²	329	274	354	299	393	350	354	253	341	248		
Фон + Рс, 9 г/м ² / Background + Ps, 9 g/m ²	70	15	70	15	63	20	114	13	112	19		
Фон + Рс, 12 г/м ² / Background + Ps, 12 g/m ²	92	37	74	19	70	27	133	32	133	40		
Фон + Г.к., 3 г/м ² / Background + Ph, 3 g/m ²	51	-4	51	-4	37	-6	105	4	100	7		
Фон + Г.к., 4 г/м ² / Background + Ph, 4 g/m ²	54	-1	54	-1	52	9	102	1	110	17		
Фон + И.м., 0,8 кг/м ² / Background + Lf, 0,8 kg/m ²	56	1	56	1	53	10	98	-3	95	2		
Фон + И.м., 1,2 кг/м ² / Background + Lf, 1,2 kg/m ²	62	7	62	7	63	20	98	-3	99	6		
Фон + Торф, 5 кг/м ² / Background + Peat, 5 kg/m ²	57	2	67	12	51	8	106	5	96	3		
Фон + Торф, 10 кг/м ² / Background + Peat, 10 kg/m ²	64	9	69	14	48	5	112	11	97	4		
Фон + Цеолит, 5 кг/м ² / Background + Zeolite, 5 kg/m ²	60	5	58	3	44	1	121	20	99	6		
Фон + Цеолит, 10 кг/м ² / Background + Zeolite, 10 kg/m ²	61	6	64	9	49	6	131	30	101	8		
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	-	33	-	46	-	58	-	40	-	39		

Примечания: Контроль – незагрязнённая почва; Рф – фосфоритная мука; Рс – суперфосфат; Г.к. – гумат калия; И.м. – известняковая мука /
Notes: Control – uncontaminated soil; Pf – phosphorite flour; Ps – super-phosphate; Ph – potassium humate; Lf – limestone flour

Таблица 5 – Изменение содержания обменного калия в почвах, загрязнённых хромом, под действием мелiorативных добавок, мг/кг /
Table 5 – Changes in the content of exchangeable potassium in soils contaminated with chromium under the influence of ameliorative additives, mg/kg

Вариант / Variant	Срок взятия образцов / Timing of sampling											
	26.08.2017		02.09.2018		21.08.2019		29.08.2020		26.08.2021			
	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation		
Контроль / Control	96	-	191	-	68	-	99	-	85	-		
Контроль + Cr, 500 мг/кг – фон / Control + Cr, 500 mg/kg – background	377	-	471	-	235	-	237	-	210	-		
Фон + Pф, 100 г/м ² / Background + Pf, 100 g/m ²	402	25	490	19	248	13	218	-19	215	5		
Фон + Pф, 150 г/м ² / Background + Pf, 150 g/m ²	394	17	493	22	257	22	240	3	220	10		
Фон + Pс, 9 г/м ² / Background + Ps, 9 g/m ²	387	10	483	12	254	19	259	22	205	-5		
Фон + Pс, 12 г/м ² / Background + Ps, 12 g/m ²	404	27	495	24	262	27	246	9	209	-1		
Фон + Г.к., 3 г/м ² / Background + Ph, 3 g/m ²	385	8	481	10	251	16	250	13	225	15		
Фон + Г.к., 4 г/м ² / Background + Ph, 4 g/m ²	394	17	477	6	255	20	255	18	229	19		
Фон + И.м., 0,8 кг/м ² / Background + Lf, 0,8 kg/m ²	355	-22	494	23	211	-24	210	-27	247	37		
Фон + И.м., 1,2 кг/м ² / Background + Lf, 1,2 kg/m ²	353	-24	442	-29	230	-5	230	-7	263	53		
Фон + Торф, 5 кг/м ² / Background + Peat, 5 kg/m ²	370	-7	463	-8	235	0	219	-18	241	31		
Фон + Торф, 10 кг/м ² / Background + Peat, 10 kg/m ²	357	-20	446	-25	240	5	235	-2	243	33		
Фон + Цеолит, 5 кг/м ² / Background + Zeolite, 5 kg/m ²	366	-11	458	-13	265	30	239	2	201	-9		
Фон + Цеолит, 10 кг/м ² / Background + Zeolite, 10 kg/m ²	365	-12	457	-14	237	2	250	13	195	-15		
НСР ₀₅ / LSD ₀₅		50		67		25		35		43		

Примечания: Контроль – незагрязнённая почва; Pф – фосфоритная мука; Pс – суперфосфат; Г.к. – гумат калия; И.м. – известняковая мука /
Notes: Control – uncontaminated soil; Pф – phosphorite flour; Pс – super-phosphate; Ph – potassium humate; Lf – limestone flour

2. В загрязнённой хромом почве под воздействием известняковой муки статистически значимо снизилась почвенная кислотность (на 1,21-3,03 ед. рН_{KCl}) и увеличилась сумма обменных оснований (в 1,7-6,5 раза). Содержание подвижного фосфора в почве увеличилось при внесении фосфоритной муки (в 2,1-9,1 раза) и суперфосфата (на 13-43 %). Использование торфа привело к росту органического вещества (на 0,28-1,47 абс.%), цеолита – суммы обменных оснований (на 1,4-9,8 ммоль/100 г, или 12-239 %). Положительное действие данных мелиоративных добавок,

особенно повышенных их доз, прослеживалось в течение всех пяти лет наблюдений.

3. Гумат калия не оказал статистически достоверного влияния на приведённые агрохимические показатели, но его внесение способствовало повышению в загрязнённой почве содержания органического вещества и обменного калия на уровне положительной тенденции.

4. Эффективное действия всех изучаемых мелиоративных добавок на агрохимические показатели позволяет их рекомендовать в качестве мелиорантов для восстановления плодородия дерново-подзолистых почв, загрязнённых хромом.

Список литературы

1. Benhaddya M., Boukhelkhal A., Halis Y., Hadjel M. Human health risks associated with metals from urban soil and road dust in an oilfield area of Southeastern Algeria. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2016;70(3):556-571. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0244-6>
2. Edmondson J. L., Stott I., Davies Z. G., Gaston K. J., Leake J. R. Soil surface temperatures reveal moderation of the urban heat island effect by trees and shrubs. Scientific Reports. 2016;7(1):33708. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep33708>
3. Дьякова Н. А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка в листьях крапивы двудомной (*Urtica Dioica* L.). Ульяновский медико-биологический журнал. 2020;(2):145-156. DOI: <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2020-2-145-156> EDN: SLPPZY
4. Реут А. А., Денисова С. Г. Содержание тяжелых металлов в сырье некоторых представителей рода *Paeonia* L. в условиях урбанизированной среды. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2021;16(4):337-352. DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2021-16-4-337-352> EDN: YSETJW
5. Hochberg M. E., Noble R. J. A framework for how environment contributes to cancer risk. Ecology Letters. 2017;20(2):117-134. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12726>
6. Loud J. T., Murphy J. Cancer Screening and Early Detection in the 21st Century. Seminars in Oncology Nursing. 2017;33(2):121-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soncn.2017.02.002>
7. Леднев А. В., Ложкин А. В., Безносков А. И. Тяжелые металлы в почвах Удмуртской Республики и приемы, снижающие их миграцию в системе, почва-растение. Ижевск: ФГБОУ ВП Ижевская ГСХА, 2016. 175 с.
8. Водяницкий Ю. Н., Ладонин Д. В., Савичев А. Т. Загрязнение почв тяжелыми металлами. М.: ГНУ Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева РАСХН, 2012. 276 с.
9. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. 142 с.
10. Bisessar S. Effect of lime on nickel uptake and toxicity in celery grown on muck soil contaminated by a nickel refinery. Science of The Total Environment. 1989;84:83-90. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(89\)90372-0](https://doi.org/10.1016/0048-9697(89)90372-0)
11. Шильников И. А., Сычев В. Г., Зеленов Н. А., Аканова Н. И., Федотова Л. С. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. М.: ВНИИА, 2008. 340 с.
12. Леднев А. В., Ложкин А. В., Поздеев Г. А. Научные основы ремедиации почв, загрязнённых хромом. Агрохимический вестник. 2022;(6):78-82. DOI: <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-6-015> EDN: KOJDDU
13. Лапа В. В. Известкование кислых почв в комплексе мероприятий по сохранению и повышению их плодородия. Земледелие и защита растений. 2018;(52):26-29.
14. Окорков В. В. Поглощающий комплекс и механизм известкования кислых почв. Владимир: ВОО ВОО, 2004. 181 с.
15. Ягодин Б. А. Кольцо жизни. М., 2002. 135 с.
16. Леднев А. В., Ложкин А. В., Поздеев Г. А. Влияние мелиоративных добавок на агрохимические показатели агродерново-подзолистой почвы, загрязнённой никелем. Агрохимический вестник. 2019;(6):67-74. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10094> EDN: DHXKFC

References

1. Benhaddya M., Boukhelkhal A., Halis Y., Hadjel M. Human health risks associated with metals from urban soil and road dust in an oilfield area of Southeastern Algeria. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2016;70(3):556-571. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0244-6>
2. Edmondson J. L., Stott I., Davies Z. G., Gaston K. J., Leake J. R. Soil surface temperatures reveal moderation of the urban heat island effect by trees and shrubs. Scientific Reports. 2016;7(1):33708. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep33708>

3. Dyakova N. A. Accumulation of heavy metals and arsenic in great nettle (*Urtica Dioica* L.) leaf tissues. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal* = Ulyanovsk Medico-biological Journal. 2020;(2):145-156. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2020-2-145-156>
4. Reut A. A., Denisova S. G. The content of heavy metals in the raw materials of some representatives of the genus *Paeonia* L. in an urbanized environment. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2021;16(4):337-352. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2021-16-4-337-352>
5. Hochberg M. E., Noble R. J. A framework for how environment contributes to cancer risk. *Ecology Letters*. 2017;20(2):117-134. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12726>
6. Loud J. T., Murphy J. Cancer Screening and Early Detection in the 21st Century. *Seminars in Oncology Nursing*. 2017;33(2):121-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soncn.2017.02.002>
7. Lednev A. V., Lozhkin A. V., Beznosov A. I. Heavy metals in the soils of the Udmurt Republic and methods that reduce their migration in the soil-plant system. Izhevsk: *FGBOU VP Izhevskaya GSKhA*, 2016. 175 p.
8. Vodyanitskiy Yu. N., Ladonin D. V., Savichev A. T. Soil pollution with heavy metals. Moscow: *GNU Pochvennyy in-t im. V. V. Dokuchaeva RASKhN*, 2012. 276 p.
9. Alekseev Yu. V. Heavy metals in soils and plants. Leningrad: *Agropromizdat, Leningr. otd-nie*, 1987. 142 p.
10. Bisessar S. Effect of lime on nickel uptake and toxicity in celery grown on muck soil contaminated by a nickel refinery. *Science of The Total Environment*. 1989;84:83-90. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(89\)90372-0](https://doi.org/10.1016/0048-9697(89)90372-0)
11. Shilnikov I. A., Sychev V. G., Zelenov N. A., Akanova N. I., Fedotova L. S. Liming as a factor in productivity and soil fertility. Moscow: *VNIIA*, 2008. 340 p.
12. Lednev A. V., Lozhkin A. V., Pozdeev G. A. Scientific basis of remediation of soils contaminated with chromium. *Agrokhimicheskii vestnik* = Agrochemical Herald. 2022;(6):78-82. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-6-015>
13. Lapa V. V. Liming of acidic soils in a complex of measures to preserve and increase their fertility. *Zemledelie i zashchita rasteniy*. 2018;(52):26-29.
14. Okorkov V. V. Absorption complex and mechanism of liming of acidic soils. Vladimir: *VOOO VOI*, 2004. 181 p.
15. Yagodin B. A. Ring of life. Moscow, 2002. 135 p.
16. Lednev A. V., Lozhkin A. V., Pozdeev G. A. Effect of land reclamation additives on agrochemical indicators of agro-soddy-podzolic soil contaminated with nickel. *Agrokhimicheskii vestnik* = Agrochemical Herald. 2019;(6):67-74. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10094>

Сведения об авторах

✉ **Леднев Андрей Викторович**, доктор с.-х. наук, руководитель, Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина 1, с. Первомайский, Завьяловского района, Российская Федерация 427007, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8602-768x>, e-mail: av-lednev@yandex.ru

Ложкин Андрей Владимирович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник управления НИР, Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина 1, с. Первомайский, Завьяловского района, Российская Федерация, 427007, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9654-7462>

Поздеев Геннадий Анатольевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», ул. Студенческая, 11, г. Ижевск, Российская Федерация, 426069, e-mail: info@udsau.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8742-5607>

Information about the authors

✉ **Andrey V. Lednev**, DSc in Agricultural Science, head of the Udmurt Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», st. Lenin, 1, v. Pervomaisky, Zavialovsky district, Russian Federation, 427007, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8602-768x>, e-mail: av-lednev@yandex.ru

Andrey V. Lozhkin, PhD in Agricultural Science, senior researcher of Research Department, Udmurt Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», st. Lenin, 1, v. Pervomaisky, Zavialovsky district, Russian Federation, 427007, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9654-7462>

Gennadiy A. Pozdeev, post-graduate student, Udmurt State Agricultural University, 11, Studencheskaya str., Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: info@udsau.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8742-5607>

✉ – Для контактов / Corresponding author