

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-31-67



### Ссылки для цитирования:

Столбовой В.С., Гребенников А.М. Индикаторы качества почв пахотных угодий РФ // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 104. С. 31-67. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-31-67

### Cite this article as:

Stolbovoy V.S., Grebennikov A.M., Soil quality indicators of arable lands in the Russian Federation, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 104, pp. 31-67, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-31-67

## Индикаторы качества почв пахотных угодий РФ

© 2020 г. В. С. Столбовой\*, А. М. Гребенников

ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,  
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,  
\*e-mail: [vladimir.stolbovoy@gmail.com](mailto:vladimir.stolbovoy@gmail.com).

Поступила в редакцию 16.05.2020, после доработки 27.05.2020,  
принята к публикации 11.11.2020

**Резюме:** Предложены три группы индикаторов качества пахотных почв РФ, включая индикаторы агроклиматических условий, индикаторы свойств почв и индикаторы негативных показателей почв. Выбор индикаторов качества почв соответствует требованиям модели расчета нормативной урожайности сельскохозяйственной культуры. Использование индикаторов в модели расчета нормативной урожайности зерновых культур позволяет ранжировать почвы сельскохозяйственных угодий по их качеству. Показано, что лучшим качеством обладают черноземные почвы с нормативной урожайностью зерновых культур, превышающей 40 ц/га. Доля этих почв в пахотном фонде страны составляет около 10%. При этом пахотные черноземные почвы занимают около 66% пахотных угодий. Более 74% пахотного фонда, представленного черноземами оподзоленными и выщелоченными в северной части и черноземами южными в южной части ареала сельскохозяйственных угодий РФ, характеризуются показателями выше среднего и средним качеством, соответственно, 30–40 ц/га и 20–30 ц/га зерновых культур. Около 10% пахотных угодий, занятых пахотными каштановыми солонцеватыми и засоленными почвами, представляют угодья худшего качества с нормативной урожайностью зерновых культур менее 10 ц/га. Предложенные индикаторы включены в

государственные программы по оценке и мониторингу качества сельскохозяйственных земель. Универсальность индикаторов является основой для разработки нового поколения стандартов защиты и рационального использования почв на основе современных цифровых технологий и ГИС-подходов.

**Ключевые слова:** охрана и рациональное использование почв, почвы, бонитет почв, здоровье почв.

## Soil quality indicators of arable lands in the Russian Federation

V. S. Stolbovoy\*, A. M. Grebennikov

*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,  
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,  
\*e-mail: [vladimir.stolbovoy@gmail.com](mailto:vladimir.stolbovoy@gmail.com).*

*Received 16.05.2020, Revised 27.05.2020, Accepted 11.11.2020*

**Abstract:** The study presents three groups of Soil Quality Indicators (SQI) of arable lands in the Russian Federation, such as agroclimate conditions, soil parameters and negative soil characteristics. The selection of SQI meets the requirements of the crop growth model for calculating the standard crop yield. The application of SQI in the Grain Equivalent Model allows ranking quality of the soils of agricultural lands in the country. The share of the best quality Chernozems with the standard yield of grain crops exceeding 4 t/ha is about 10%. At the same time, arable Chernozems occupy nearly 66% of total area of agricultural lands. More than 74% of the arable lands including podzolized and leached Chernozems in the northern part and Chernozems southern in the southern part of the agricultural zone are characterized by medium quality with the standard yield of grain crops 2–4 t/ha. About 10% of the arable land occupied by Chestnut solonchic and saline soils are of poorer quality with the standard yield of grain crops less than 1 t/ha. The proposed indicators are included in the government programs for valuating and monitoring the quality of agricultural lands. The universal validity of indicators is a basis for the development of a new generation of standards for the protection and rational use of soils based on modern digital technologies and GIS approaches.

**Keywords:** soil conservation and rational use, soil, soil bonitet, soil health.

### ВВЕДЕНИЕ

Почвы, наряду с атмосферным воздухом и поверхностными и грунтовыми водами, признаны одним из компонентов, контро-

лирующих качество окружающей среды ([Постановление правительства... , 2019](#)). Качество воды и воздуха определяется главным образом степенью загрязнения, которое непосредственно влияет на потребление и здоровье человека и животных или на природные экосистемы. Подход к оценке качества почв с позиций их загрязнения получил широкое распространение в России ([ГОСТ 17.4.4.01-84](#); DIN EN ISO 11269-2-2013), но может считаться односторонней, упрощенной трактовкой термина.

Понятие “качество почвы” более комплексное в связи со сложностью ее организации как компонента природы и объекта мультифункциональной хозяйственной деятельности. В общем виде понятие “качество почв” рассматривает “пригодность почв к использованию” и “способность почвы функционировать”. То есть *“качество почвы – это способность почвы выполнять функции, необходимые для ее использования”*. Действительно, качество почвы, для сельскохозяйственного использования, оценивается ее способностью обеспечивать производство продовольствия и сырья, в то время как, с точки зрения экологии, качество определяется способностью почв стимулировать рост растений, защищать водосборные бассейны путем регулирования инфильтрации и распределения осадков и предотвращения загрязнения воды и воздуха путем буферизации потенциальных загрязнителей, таких как сельскохозяйственные химикаты, органические отходы и промышленные химикаты. В отечественных подходах понятие качество часто используется в смысле цели использования, например, “...плодородие (качество) почвы рассматривается как совокупный эффект почвенных условий...” ([Кирюшин, 2007](#)). В этом и аналогичных примерах ([Богатырев и др., 2017](#)) термин “плодородие” приводится как синоним понятия “качество” почв. Тем самым последнее понятие упрощается до уровня одной функции – плодородия. Это лишает понятие “качество почв” содержательного полифункционального смысла

В зарубежных источниках качество почв трактуется гораздо шире: как “способность почвы функционировать в пределах границ экосистемы и землепользования для поддержания биологической продуктивности, сохранения качества окружающей среды, обеспечения здорового развития растений и живых организмов,

включая человека” ([Bunemann et al., 2018](#)). При этом сложность понятия “качество почв” объясняется полифазностью почв, включающих твердую, жидкую и газообразную фазы, а также их многофункциональностью, обеспечивающей многочисленные прямые и обратные связи между функциями почв и почвенными экосистемными услугами ([Nortcliff, 2002](#)).

В настоящее время вводятся новые аспекты качества почв, такие как здоровье почв, почвенные услуги/сервисы, почвенные риски. В научных публикациях перечисленные термины часто взаимосвязаны и взаимозаменяемы. Так на сайте Национальной охраны природных ресурсов США приводится такое определение: “Здоровье почвы, также называемое качеством почвы, определяется как постоянная способность почвы функционировать как жизненно важная живая экосистема, которая поддерживает растения, животных и людей” ([Soil Health, NSCS USDA](#)). Заметим, что в приведенном определении, так же как и в случае, отмеченном выше, обнаруживается подмена понятий “здоровье почв” и “качество почв”. При этом смысл такой подмены не ясен. Вместе с тем, по мнению зарубежных экспертов, отмеченная выше диверсификация терминов качества почв связана с усилением внимания общества к качеству окружающей среды, включая почвы и развитие рынка почвенных услуг. В этих условиях различные аспекты качества почв позволяют более точно определить ценность их разнообразных услуг в системе “спрос – предложение” ([Bunemann et al., 2018](#)). Подчеркнем, что именно ценность экосистемных услуг почв, таких как регулирование выбросов парниковых газов, качества воды и загрязнения сельскохозяйственными химикатами и пр., контролирует сельскохозяйственное производство в развитых странах, включая требование к снижению продуктивности пахотных угодий, введение ограничений на антропогенные нагрузки на окружающую среду и повышение спроса на экологически чистую продукцию.

Правительство РФ утвердило Постановление о проведении “регуляторной гильотины”, которая предполагает к 1 января 2021 года провести инвентаризацию всех действующих и обязательных норм охраны и использования почв с целью оценить их соответствие современным “реалиям”. Согласно отмеченному выше

Постановлению, ревизия должна учитывать разнообразие природных особенностей территории, а также разрешенный вид ее использования.

Основой пересмотра норм в области охраны и рационального использования почв выступает принятый МСХ РФ в 2014 г. и МПР и Экологии РФ в 2019 г. “Единый государственный реестр почвенных ресурсов России” ([ЕГРПР, 2014](#)). ЕГРПР является официальным почвенным информационным ресурсом страны новой цифровой генерации. Почвенные и другие атрибуты ЕГРПР соединены с полигонами цифровой почвенной карты, что позволяет создать пространственно-распределенные нормативы с учетом региональных особенностей природных условий, категорий использования земель, специфики почв. Очевидно, что одним из направлений обновления существующих стандартов и норм использования и охраны почв является приведение их в соответствие с возможностями современной государственной цифровой почвенной информационной платформы ЕГРПР.

Необходимо подчеркнуть, что обновление действующих и обязательных норм охраны и использования почв в рамках “регуляторной гильотины” должно быть гармонизировано с другими действующими государственными актами в отношении почв с тем, чтобы устранить их дублирование и возможные противоречия. В частности, обновленные нормы должны быть согласованы с практикой государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения, которая осуществляется на основе ЕГРПР и модели расчета нормативной урожайности сельскохозяйственной культуры (Приказ МЭР РФ № 226 от 12 мая 2017 г.). Обновленные нормы также должны отвечать требованиям мониторинга сельскохозяйственных земель, таким как использование современных информационных технологий, геоинформационных платформ и программных средств ([Концепция..., 2010](#)).

Одним из главных направлений обновления действующих и обязательных норм охраны и использования почв является применение современных информационных технологий. Последние включают цифровые пространственно-распределенные базы данных и разработку индикаторов качества почв, под которыми понимается “мера, отражающая степень того, насколько набор при-

сущих характеристик (результат процесса, процедуры и т. п.) удовлетворяет требованиям” (ISO 15189:2012).

Целью настоящей статьи является описание индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий РФ и демонстрация их использования для территориального ранжирования качества почв и построения карт.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Индикаторы качества пахотных почв сельскохозяйственных земель (ИКПСХ) являются частью новой цифровой базы пространственно-распределенных данных “Почвы сельскохозяйственных угодий РФ” (БД ПСХР). Эта база данных разрабатывается ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева” и будет зарегистрирована в конце 2020 г. БД ПСХР – это новая генерация интегрированных отраслевых баз данных федерального уровня<sup>1</sup>, имеющих цель почвенно-информационного сопровождения государственной политики сельскохозяйственного производства в части рационального использования и охраны почв. Семантическая часть БД ПСХР содержит агрегированные на базе ЕГРПР разнообразные почвенные характеристики, включая данные IV тура крупномасштабных (1 : 10 000 и 1 : 25 000) почвенных обследований ([Методические рекомендации..., 2003](#); [Оценка земель..., 1989](#)) и более поздние данные мониторинга земель сельскохозяйственного назначения (доступные в сети Интернет Государственные (национальные) доклады о состоянии и использовании земель в РФ в 2015–2020 гг.). В дополнение к почвенным данным БД ПСХР интегрирует агроклиматические параметры ([Оглезнев и др., 2007](#)), данные природно-сельскохозяйственного районирования ([Природно-сельскохозяйственное районирование..., 1983](#)) и статистические данные, характеризующие сельскохозяйственную де-

---

<sup>1</sup> Согласно пункту 1 статьи 72 Конституции РФ, вопросы владения, пользования и распоряжения землей, недрами, водными и другими природными ресурсами находятся в совместном ведении Российской Федерации и субъектов Российской Федерации. Исполнение этой нормы предполагает наличие двухуровневой системы почвенного обеспечения: федерального и регионального (проектного).

тельность, начиная с уровня административных районов РФ ([Столбовой, 2018](#)). Общее число типологических единиц качества почв (ТЕКП) пахотных угодий РФ составляет около 10 107. Геометрическая часть БД ПСХР состоит из 54 695 картографических единиц качества почв (КЕКП), сгенерированных в среде QGIS.

Выбор ИКПСХ определяется требованиями модели расчета нормативной урожайности сельскохозяйственной культуры (МРНУ) ([Сапожников и др., 2012](#)). МРНУ разработана на основе анализа эмпирических данных сельскохозяйственных опытов, проведенных на Госсортоучастках Краснодарского края. В результате были выявлены статистически значимые характеристики / индикаторы природных условий и показателей почв, контролирующие плодородие почв, выраженное в баллах бонитета, и продуктивность основных сельскохозяйственных культур. Исходные данные и алгоритмы расчетов приводятся в отчетах института РосНИИЗемпроект ([Оценка..., 1989](#)), а также опубликованы в ряде изданий ([Методика..., 2003](#); [Оглезнев, 2007](#)). Рассматриваемая МРНУ ([Сапожников и др., 2012](#)) утверждена Федеральной службой земельного кадастра и рекомендована Министерством экономического развития (Приказ МЭР РФ № 226 от 12 мая 2017 года) для кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения.

Модель расчета нормативной урожайности (МРНУ) имеет структуру:

$$U_n = [ 33,2 \times 1,4 ] \times \left[ \left( \frac{AP}{10} \right) \times ( K_1 \times K_2 \times K_3 ) \times ( K_4 ) \right] \quad , [1]$$

где

$U_n$  – нормативная урожайность зерновых культур, ц/га;

$[33,2 \times 1,4]$  – блок пересчета баллов бонитета почв в нормативную урожайность зерновых культур, где

33,2 – нормативная урожайность (ц/га) зерновых культур на эталонной почве, полученная при применении среднего уровня зональных технологий при базовом значении АП (10,0);

1,4 – коэффициент пересчета на уровень урожайности зерновых культур при интенсивной технологии возделывания.

$\left[ \left( \frac{АП}{10} \right) \times ( K_1 \times K_2 \times K_3 ) \times ( K_4 ) \right]$  – модуль расчета бонитета почв, где

$\left[ \frac{АП}{10} \right]$  – блок расчета агроклиматических показателей, где

АП – величина местного агроклиматического потенциала для зерновых культур;  
10,0 – базовое значение величины АП.

$\left[ K_1 \times K_2 \times K_3 \right]$  – блок расчета свойств почв, где

$K_1$  – содержание гумуса в пахотном слое;

$K_2$  – мощность гумусового горизонта;

$K_3$  – содержание физической глины в пахотном слое.

$\left[ K_4 \right]$  – блок расчета негативных показателей почв, где

$K_4$  – блок расчета суммарного влияния негативных показателей почв.

МРНУ рассчитывает урожайность зерновых культур относительно таковой эталонной почвы. В качестве последней выбран чернозем, сформированный на лёссе с содержанием 4% гумуса в пахотном слое, имеющий гумусовый горизонт мощностью 50 см и содержание физической глины 50%. Почвообразующий лёсс обладает оптимальными тепловыми и водно-физическими свойствами (водопроницаемость 0.1–1.0 м/сут.) и хорошим внутренним дренажом. Эталонный чернозем не имеет негативных свойств, таких как эродированность, избыточное увлажнение, уплотнение, засоление, и др.

В перечень ИКПСХ входят характеристики почв, изменение которых трудно или не регулируется хозяйственной деятельностью. Агрохимические показатели плодородия почв, такие как содержание элементов питания растений, кислотность, состав поглощенных катионов и пр., обладают значительным пространственным варьированием в пределах отдельных производственных участков. Эти показатели регулируются внесением удобрений и мелиорантов и в перечень индикаторов качества почв не включены. Также не включены свойства, проявление которых препятствует использованию почв в земледелии, например, содержание загрязняющих и радиоактивных веществ в количествах, превышающих допустимые нормы.

В число индикаторов качества почв входят три группы:

I. Индикаторы агроклиматических условий:

1. Агроклиматический потенциал.

II. Индикаторы свойств почв:

2. Содержание гумуса в пахотном слое по методу Тюрина.

3. Мощность гумусового горизонта: в дерново-подзолистых пахотных почвах соответствует мощности горизонта  $A_1$  или  $A_{\text{пах}}$ ; в серых лесных и бурых лесных пахотных почвах соответствует толщине поверхностного слоя, занимаемого горизонтами  $A_1$  и  $A_1A_2$ ; в пахотных черноземах, лугово-черноземных и каштановых почвах включает слой, состоящий из  $A$  и  $B_1$  горизонтов.

4. Содержание физической глины в пахотном слое: содержание фракций мелкозема размером менее 0.01 мм в %.

III. Индикаторы негативных показателей почв:

5. Легкий гранулометрический состав: преобладает песчаная фракция (частицы 0.05–1.0 мм).

6. Засоление почвы: содержание легкорастворимых солей.

7. Солонцеватость: содержание обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе более 5% от емкости обмена.

8. Переувлажненные минеральные почвы: содержание влаги превышает 85% от предельной полевой влагоемкости при тяжелом гранулометрическом составе и 95% при легком гранулометрическом составе.

9. Водная эрозия: вынос, перенос и переотложение почвенной массы.

10. Каменистость и щебнистость: содержание в почве фракций, размер частиц которой превышает 3 мм и 1–3 мм соответственно.

11. Карбонатность: содержание в почве карбоната кальция в количестве, превышающем 2%.

12. Выщелоченность черноземных почв: промытость горизонтов (А + АВ) от карбонатов и других растворимых веществ.

13. Оподзоленность черноземов: наличие осветленной, мучнисто-белесой присыпки, покрывающей структурные отдельности в нижней части горизонта А и в верхней части переходного горизонта В; выщелоченность почвенного профиля от карбонатов (и других растворимых веществ) на глубину, превышающую 1–1.5 м.

14. Уплотнение гумусовых горизонтов в результате движителей сельскохозяйственной техники.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### **I. Индикаторы агроклиматических условий**

#### *Агроэкологический потенциал (АП)*

АП характеризует специфические требования сельскохозяйственной культуры к условиям произрастания. В нашем исследовании мы приводим формулу расчета АП для зерновых культур ([Оглеzneв и др., 2007](#)).

АП рассчитывается по формуле:

$$АП = \frac{\sum t > 10^0 \times (КУ - P)}{KK + 100}, \text{ где}$$

$\Sigma t > 10^\circ$  – сумма температур выше  $10^\circ$ , берется из климатических (агроклиматических) справочников;

КУ – коэффициент увлажнения (отношение количества осадков к испаряемости); величины КУ более 1.1 принимаются равными 1.1;

P – поправка к КУ,

при КУ > 0.76: P = 0.20–0.6 (1.1–КУ);

при КУ = 0.76–0.36: P = 0;

при КУ = 0.35–0.30: P = 0.35 – КУ;

при КУ < 0.30: P = 0.05;

КК – коэффициент континентальности климата рассчитывается по формуле:

$$КК = \frac{360(t^{\circ} \max - t^{\circ} \min)}{\lambda + 10}, \text{ где}$$

$t^{\circ} \max$  – средняя температура самого теплого месяца;

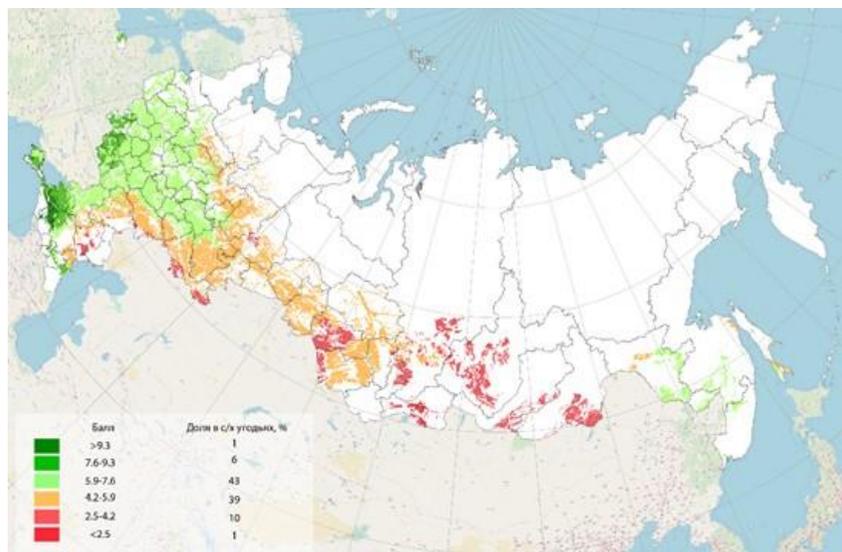
$t^{\circ} \min$  – средняя температура самого холодного месяца;

$\lambda$  – широта местности – берется с точностью до десятых долей градуса, КК берется в целых числах. Величины КК более 200 принимаются равными 200.

Пространственное размещение индикаторов агроклиматических условий не следует строго полосной зональной картине (рис. 1). Это связано с наложением на зональную картину распределения температурных условий мозаичного рисунка ареалов выпадения атмосферных осадков. В результате формируется пятнистая картина географического распределения увлажнения как отношения количества осадков к испаряемости.

Ареалы индикаторов агроклиматических условий с более высокими (лучшими) баллами (зеленые цвета – более 6 баллов), занимают около 50% площади сельскохозяйственных угодий. Территории заняты широким спектром почв, таких как пахотные серые лесные, пахотные черноземы. Площади с индикаторами агроклиматических условий со средними значениями баллов (оранжевый цвет – 4–6 баллов) занимают почти 39% пахотных угодий.

Здесь получили распространение пахотные дерново-подзолистые, пахотные каштановые, пахотные бурые лесные почвы. Арёалы с индикаторами агроклиматических условий с относительно низкими баллами (красные цвета – менее 4 баллов) занимают около 11% пашни.



**Рис. 1.** Индикаторы агроклиматических условий производства зерновых по 10-балльной шкале. 10 баллов соответствует лучшим и 0 баллов – худшим агроклиматическим условиям.

**Fig. 1.** Indicators of agricultural and climatic conditions of grain crops production on a 10 point scale. 10 points correspond to the best and 0 points – to the worst agro-climatic conditions.

## II. Индикаторы свойств почв

### *Содержание гумуса в пахотном слое*

Роль гумуса в почвенном плодородии многогранная и разносторонняя. Трудно указать почвенное свойство, влияющее на плодородие почв, на которое органическое вещество не оказывало бы позитивного влияния. Велика роль гумуса в формировании и улучшении питательного режима культур, физико-механических

(структура, плотность, пористость и др.) и физико-химических свойств (емкость поглощения, буферность и др.), биологической активности (численность, состав почвенных организмов (микроорганизмов, мезо- и макрофауны), содержание ферментов), санитарно-защитных функций почв.

Для определения содержания гумуса используется метод Тюрина ([ГОСТ 26213-91](#)).

#### *Мощность гумусового горизонта*

Мощность гумусового (пахотного) горизонта отражает эффективное и потенциальное плодородие почв. Этот показатель наряду с глубиной обработки почвы почв имеет большое значение в функционировании агроэкосистемы. При углублении пахотного горизонта создаются более благоприятные условия для развития корневой системы, повышается доступность растениям элементов минерального питания, водо- и воздухопроницаемость, усиливается микробиологическая активность, создается более устойчивый водный режим почвы, повышается эффективность борьбы с сорной растительностью, болезнями и вредителями сельскохозяйственных культур, уменьшается вынос веществ из этого горизонта в окружающую среду.

Мощность гумусового горизонта почв идентифицируется в соответствии с морфологическими признаками генетических горизонтов, которая определяется как среднее значение мощности этого горизонта из не менее чем четырех выработок (разрезов, прикопок). При оценке мощности гумусового горизонта следует иметь в виду, что, как отмечено выше, в генетически разных почвах этот горизонт может включать фрагменты разных генетических горизонтов.

#### *Содержания физической глины в пахотном слое*

Содержание физической глины в почве (суммарное процентное содержание фракций мелкозема размером менее 0.01 мм) характеризует гранулометрический состав почв, который оказывает существенное влияние на плодородие почв. При этом негативное влияние на плодородие почв оказывает как низкое (песчаные и супесчаные почвы), так и высокое содержание физической глины в почве (тяжелосуглинистые и глинистые почвы).

Песчаные и супесчаные почвы бесструктурные, бедны гумусом и элементами минерального питания, отличаются невысокой поглотительной способностью и в связи с этим обладают низкой буферностью, что обуславливает резкое увеличение концентрации почвенного раствора и быстрое его подкисление при внесении физиологически кислых удобрений. Песчаные и супесчаные почвы имеют низкую влагоемкость. По этой причине даже в гумидном климате в жаркое время года растения, произрастающие на таких почвах, испытывают дефицит влаги. Эти почвы считают бедными и сухими.

Глинистые и тяжелосуглинистые почвы характеризуются замедленной фильтрацией и высокой влагоемкостью, что в гумидных условиях ведет к переувлажнению и развитию оглеения. Во влажном состоянии эти почвы вязкие, липкие, при высыхании становятся твердыми и тяжело обрабатываются.

Среднесуглинистые и легкосуглинистые почвы имеют наиболее благоприятные свойства для возделывания сельскохозяйственных культур.

Содержание физической глины в почве предварительно оценивают органолептически методом полевой диагностики и уточняют в лабораторных условиях ([ГОСТ 12536–2014](#)).

Пространственное размещение индикаторов свойств почв носит относительно выраженный зональный характер (рис. 2). Это в значительной степени определяется зональным характером распространения гумусово-аккумулятивных горизонтов дерново-подзолистых, серых лесных, черноземных и каштановых почв. Отмеченная зональная картина поддерживается также достаточно однородным гранулометрическим суглинистым составом пахотных почв. Супесчано-песчаные и глинистые почвы неблагоприятны для земледелия.

Ареалы индикаторов свойств почв, определяющие наименьшие потери урожайности зерновых (зеленые цвета, потери урожая менее 20%), занимают около 44% площади сельскохозяйственных угодий. Территории заняты пахотными черноземными почвами. Площади с индикаторами свойств почв, характеризующими средние значения потери урожайности зерновых культур (желто-розовые цвета, потери урожая в интервале 20–40%) зани-

мают почти 19% пахотных угодий. Здесь получили развитие пахотные серые лесные и каштановые почвы. Территории с индикаторами свойств почв с относительно высокими потерями урожая (красные цвета, потери урожая более 40%) занимают около 37% пашни. Территории заняты пахотными дерново-подзолистыми, а также пахотными каштановыми солонцеватыми и засоленными почвами.

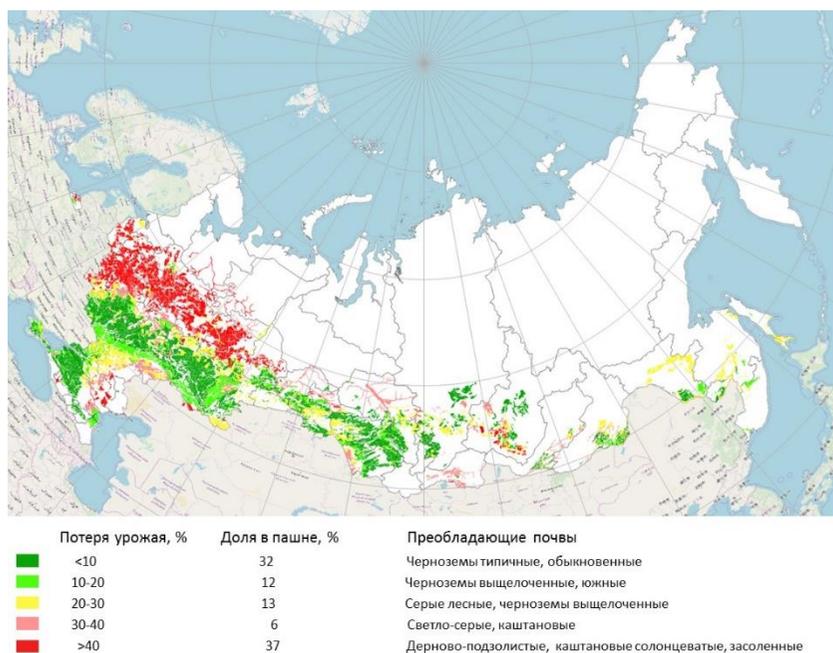


Рис. 2. Индикаторы свойств почв.

Fig. 2. Soil indicators.

### Ш. Индикаторы негативных показателей почв

#### *Легкий гранулометрический состав*

К легкому гранулометрическому составу относятся песчаные, супесчаные почвы, развитые на песках и супесях, а также на двучленных отложениях, в которых верхняя часть профиля почв

сложена песками и супесями, а нижняя часть подстиляется суглинками и глинами.

Почвы легкого гранулометрического состава обладают рядом негативных свойств, приводящих к снижению их плодородия и продуктивности сельскохозяйственных культур. Они характеризуются высокой водопроницаемостью, низкой влагоемкостью, следствием чего является слабая водоудерживающая способность этих почв; практическим отсутствием структурных агрегатов, низким содержанием гумуса, низкими величинами емкости катионного обмена и поглотительной способности в целом, слабой обеспеченностью элементами минерального питания.

Предварительные данные о гранулометрическом составе почв, почвообразующих и подстилающих пород получают непосредственно при почвенном обследовании методом полевого определения гранулометрического состава. Окончательный вывод о гранулометрическом составе почв, почвообразующих и подстилающих пород делают на основе результатов определения этого свойства в лаборатории методом пипетки.

#### *Незначительная мощность слоя мелкозема*

**Незначительная мощность мелкоземистого почвенного слоя, сложенного преимущественно частицами**, размер которых составляет менее 1 мм, **также является фактором, ограничивающим** величину нормативной урожайности зерновых культур. Фракция мелкозема обеспечивает распространение корневых систем растений в почве, необходимое для их нормального функционирования и развития. Незначительная мощность мелкоземистого почвенного слоя (не более 30 см) может наблюдаться в остаточнок-карбонатных, неполно развитых и других почвах, подстилаемых плотными породами (щебнисто-каменистый элюво-делювий известняков, сланцев и пр.). Негативное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур может оказывать и подстиление галечником на глубине 50–100 см.

Наличие в профиле рассматриваемых почв большого количества обломков горной породы уменьшает полезный объем почвы, снижает полевую влагоемкость, препятствует обработке. Влагообеспеченность этих почв очень низкая и даже при достаточном количестве атмосферных осадков растения часто испытывают за-

суху. Дефицит влаги в мелкоземистом слое может усугубляться условиями его хорошего дренажа за счет высокого содержания скелетной части или относительно высокой водопроницаемости подстилающих пород. Эти почвы часто характеризуются высокой уплотненностью и непрочной структурой. Следствием маломощности **мелкоземистого слоя** являются низкие запасы питательных веществ в рассматриваемых **почвах**.

Определяется **мощность мелкоземистого почвенного слоя** **прямым измерением его толщи от поверхности до подстилания плотными породами и галечником** как среднее значение мощности этого слоя, установленное не менее, чем в четырех выработках (разрезах, прикопках).

#### *Засоление*

Засоление почвы – процесс накопления в ней легкорастворимых солей, которые оказывают токсичное влияние на культурные растения, в результате чего может происходить как снижение их продуктивности, так и полная гибель.

Влияние легкорастворимых солей на растение обусловлено осмотическим связыванием воды и специфическим действием ионов на протоплазму. С повышением концентрации солей влага становится все менее доступной для растений. Такое явление называется физиологической засухой, т. е. при влажной почве вода не может поступать в растения. Кроме того, соли, проникая в клетку, оказывают токсическое воздействие на протоплазму. Избыток солей в почве приводит к нарушению нормального соотношения элементов минерального питания, отрицательному воздействию на свойства почв.

В связи с тем, что разные соли неодинаково токсичны для растений, засоленные почвы различают не только по концентрации, но и по составу солей. Оценка засоления почв проводится по данным анализа водной вытяжки. При этом учитывается содержание анионов ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) и катионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ) легкорастворимых солей, переходящих в водную вытяжку. Все легкорастворимые соли считаются токсичными для растений.

Содержание легкорастворимых солей в почвах определяют методами, изложенными в [ГОСТ 26423-85](#), [26424-85](#), [26425-85](#),

[26426-85](#), [26427-85](#), [26428-85](#). По результатам анализа определяют тип и степень засоления почв.

Необходимо отметить, что, как было установлено в результате обработки данных оценки земель в субъектах РФ, на нормативную урожайность зерновых культур негативное влияние оказывает залегание на глубине 0–80 см почвенных горизонтов, засоленных токсичными солями натрия. Определение количества солей натрия и оценка степени засоления осуществляется в соответствии с вышеизложенными методиками. Следует считать, что негативное влияние солей натрия, залегающих на глубине 0–80 см, на нормативную урожайность зерновых культур проявляется уже при слабой степени засоления.

### ***Солонцеватость***

**Солонцеватость** почв связана с наличием обменного натрия в составе почвенного поглощающего комплекса. По степени солонцеватости почвы условно разделяются на следующие группы в зависимости от содержания обменного натрия:

- 1) при содержании  $\text{Na}^+$  меньше 5% от суммы поглощенных оснований – несолонцеватые почвы;
- 2) при содержании  $\text{Na}^+$  5–10% от суммы катионов – слабосолонцеватые почвы;
- 3) при содержании  $\text{Na}^+$  10–20% – солонцеватые почвы;
- 4) при содержании поглощенного  $\text{Na}^+$  больше 20% – солонцы.

Обладая высокой щелочностью, солонцы отличаются вместе с тем крайне плохими физическими свойствами: бесструктурностью, заплываемостью, набухаемостью и клейкостью. Во влажном состоянии они слитые, липкие и вязкие, а в сухом – твердые и сильнотрещиноватые. Обработка солонцов очень затруднена: тракторы на влажных солонцах буксуют, на сухих же – почвообрабатывающие орудия скользят по поверхности, а при заглублении в почву ломаются. Свойства солонцов и солонцеватых почв неблагоприятны для развития растений, что приводит к снижению их продуктивности.

По глубине залегания солонцового горизонта ( $B_1$ ), различают следующие группы солонцов: корковые (< 5 см), мелкие (5–10 см), средние (10–18 см) и глубокие (> 18 см).

Для установления степени солонцеватости почвы (% содержания обменного натрия от суммы катионного обмена) необходимо определить содержание обменного натрия и величину емкости катионного обмена ([ГОСТ 26950-86](#); [ГОСТ 17.4.4.01-84](#)).

Уровень плодородия солонцовых почв во многом зависит от мощности надсолонцового горизонта. Чем ближе к поверхности почвы расположен солонцовый горизонт и чем больше его мощность, тем ниже плодородие солонцов и труднее их освоение. С другой стороны, чем глубже находится солонцовый горизонт, тем легче создать нормальный пахотный слой, поэтому мощность надсолонцового горизонта является важным показателем оценки уровня плодородия этих почв. Определяется **мощность** надсолонцового горизонта **прямым измерением его толщи от поверхности до кровли иллювиального (солонцового) горизонта** как среднее значение этой толщи, установленное не менее чем в четырех выработках (разрезах, прикопках).

#### ***Избыточное увлажнение***

**Избыточное увлажнение** является одним из важнейших факторов, ограничивающих использование почв. Этот фактор часто является лимитирующим рост и развитие сельскохозяйственных культур, и на его фоне другие благоприятные свойства почвы утрачивают положительное влияние на растения, делают малоэффективным внесение удобрений.

Согласно ГОСТ 23.001-96 минеральные почвы тяжелого гранулометрического состава считаются переувлажненными, если содержание в них влаги превышает 85% от предельной полевой влагоемкости. Аналогичный предел содержания влаги в почвах легкого гранулометрического состава достигает 95% от предельной полевой влагоемкости ([ГОСТ 28268-89](#)).

Избыточное увлажнение почв в корнеобитаемом слое с длительным заполнением водой не только капиллярных, но и крупных не капиллярных пор, имеющих воздухопроводящее значение, приводит к снижению содержания кислорода в почве и, как следствие, к установлению анаэробных условий. В результате происходит изменение органической и минеральной части почвы, а также образование веществ токсичных для растений. Избыток влаги и недостаточная аэрация подавляет деятельность аэробных

микроорганизмов, тормозит разложение растительных остатков, обуславливает преобладание восстановительных процессов над окислительными. Избыток влаги приводит к увеличению плотности сложения, уменьшению порозности и водопроницаемости за счет разрушения почвенной структуры.

В избыточно увлажненных почвах протекает процесс оглеения (глеообразования). В зависимости от выраженности этого процесса определяется длительность периода избыточного увлажнения почвы. Сильная степень оглеения отмечается в почвах, испытывающих длительное или постоянное переувлажнение. При периодически длительном увлажнении формируются среднеоглеенные (глееватые) почвы, признаки оглеения в которых выражены слабее по сравнению с глеевыми почвами. При кратковременном сезонном переувлажнении (обычно весной и осенью) формируются слабооглеенные (слабоглееватые) почвы. Степень избыточного увлажнения определяют по морфологическим свойствам.

На продуктивность сельскохозяйственных культур существенное влияние оказывает тип и гранулометрический состав избыточно увлажненных почв, а также особенности их переувлажнения.

### ***Водная эрозия***

**Водная эрозия является фактором** разрушения почвенного покрова под действием талых, дождевых или ирригационных вод. Эрозия почв включает в себя вынос, перенос и переотложение почвенной массы. В процессе водной эрозии ухудшаются физические, химические и биологические свойства почвы. Под действием водной эрозии происходит снижение плодородия почвы, повреждение растений и потеря урожая сельскохозяйственных культур.

Диагностику эродированных почв в полевых условиях проводят по изменению морфологических признаков пахотного слоя и почвенного профиля, которые объективно отражают свойства эродированных почв и, следовательно, уровень их плодородия. При диагностике эродированных почв учитывают, какие горизонты почвы снесены при развитии водной эрозии и за счет каких горизонтов образуется пахотный слой. По степени эродированности выделяют слабо-, средне- и сильноосмытые почвы. Степень смытости почв достаточно тесно связана с уклоном местности.

Несмытые почвы встречаются на склонах, крутизна которых не превышает  $1^\circ$ , слабосмытые – на склонах крутизной  $1-3^\circ$ , среднесмытые –  $3-5^\circ$ , сильносмытые – более  $5^\circ$ .

Наиболее значительно негативное влияние эродированности на плодородие почв и урожай сельскохозяйственных культур проявляется на средне- и сильносмытых почвах.

#### *Каменистость и щебнистость*

Содержание крупных отдельностей (камней и щебня) в почвах существенно влияют на их плодородие. Фракция камней и щебня составляют скелетную часть почв (сумма фракций с размером частиц более 1 мм). При этом размер отдельностей от 1 до 3 мм соответствует щебнистой, а свыше 3 мм – каменистой фракции. Почвы с выраженной скелетной частью в основном приурочены к горным областям, занимающим обширные территории России.

По степени скелетности почвы разделяются на слабо-, средне-, сильно- и очень сильно скелетные, что соответствует содержанию скелетной части в почвах менее 10%, 10–20%, 20–50% и более 50%.

Скелетные почвы характеризуются свойствами, оказывающими в большинстве своем негативное влияние на рост и развитие растений: малой мощностью почвенного профиля и слабой дифференциацией его на генетические горизонты, наличием погребенных гумусовых горизонтов, неоднородностью гранулометрического состава, легким гранулометрическим составом мелкозема, низким содержанием гумуса (в основном менее 1%) и питательных элементов. Скелетные почвы, часто выщелоченные или слабо выщелоченные, характеризуются высоким содержанием первичных минералов, избыточно высокой (вплоть до провальной) фильтрацией, низкой влагоемкостью, высокой уплотненностью и непрочной структурой.

К положительным свойствам щебнистых (каменистых) почв следует отнести тот факт, что камни и щебень, содержащиеся в этих почвах, создают эффект мульчи, предотвращающий развитие процессов водной эрозии и уменьшающий вынос почвенного материала. Эти почвы обладают хорошими тепловыми свойствами и высокой воздухопроницаемостью.

Однако, несмотря на отдельные положительные свойства, в целом скелетные почвы в отношении основных сельскохозяйственных культур являются потенциально мало плодородными, так как возрастание скелета равносильно снижению мощности корнеобитаемого слоя и, соответственно, снижению плодородия. Особо следует подчеркнуть относительно большую сухость каменистых почв.

Определение каменистости и щебнистости почв проводят в соответствии с методикой определения скелетной части почв ([ГОСТ 12536–2014](#)).

### ***Карбонатность***

**Карбонатность почв оказывает существенное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур.** Под этим свойством понимается содержание в почве или почвообразующей породе карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) и обычно не предполагается наличие в почвах других форм карбонатов ( $\text{Mg}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$  и т. д.).

В полевых условиях для оценки содержания карбонатов в почве используют результаты воздействия 10%-ной  $\text{HCl}$  на почву. Для этого в почвенных выработках (не менее чем в четырех прикопках или разрезах) определяется глубина вскипания. Если при этом отмечается устойчивое вскипание почвы с поверхности или в пахотном горизонте, то исследуемую почву относят к карбонатным. Окончательное заключение о карбонатности почв принимается на основе результатов определения карбонатов алкалиметрическим методом по Ф.И. Козловскому ([Руководство по лабораторным методам..., 1990](#)).

В зависимости от содержания карбонатов почвы разделяются на 5 градаций: слабокарбонатные (меньше 2%  $\text{CaCO}_3$ ), карбонатные (2–15%), среднекарбонатные (15–25%), сильнокарбонатные (25–30%), очень сильнокарбонатные (более 30%).

Карбонатные почвы распространены как среди зональных типов на территории от подзоны лесостепи и южнее (черноземы карбонатные, каштановые карбонатные и т. д.), так и среди интразональных типов (дерново-карбонатные почвы, среди которых наиболее распространены типичные разновидности).

Дерново-карбонатные почвы гумидной зоны более плодородны по отношению к зональным почвам. Карбонатные почвы лесостепной, степной и пустынной зон в основном уступают по плодородию некарбонатным почвам. Они содержат меньше органического вещества и доступных для растений форм элементов питания. При этом наличие в почвах карбонатов приводит к уменьшению растворимости соединений фосфора и многих микроэлементов. Минеральное питание растений в присутствии избытка активной извести, обуславливающей щелочную реакцию почв, осуществляется не полностью. Избыток иона кальция затрудняет поглощение других ионов, что объясняется явлением антагонизма.

Избыточная щелочность почвы, являющаяся следствием их карбонатности, отрицательно сказывается на развитии растений и почвенных микроорганизмов, ухудшает физические свойства почв (они становятся плотными, твердыми, менее пористыми и водопроницаемыми). Растения страдают от хлороза. Дерново-карбонатные типичные почвы часто обладают повышенной вязкостью и липкостью во влажном состоянии и глыбистостью в сухом вследствие деградации структуры; характеризуются узким диапазоном активной влажности, что приводит к сжатию сроков обработки почвы.

### ***Выщелоченность черноземов***

**Выщелоченность является одним из факторов снижения плодородия черноземных почв.** Выщелачивание как почвенное явление представляет передвижение и вынос с растворами за пределы отдельного горизонта, почвы и коры выветривания карбоната кальция и других растворимых солей. При этом главным компонентом выщелачивания является бикарбонат кальция, существующий в природе в растворимом состоянии. Растворимость же самого кальцита крайне незначительна и не принимается во внимание.  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  при изменении концентрации раствора и содержании в нем  $\text{CO}_2$  легко переходит снова в кальцит. Эта переходная форма кальцита формирует в почвах различного рода карбонатные новообразования, представляющие в той или иной форме карбонатный профиль (распределение карбонатов по генетическим горизонтам почвы).

Черноземы выщелоченные характеризуются совмещением процессов интенсивного накопления гумуса с выносом / выщелачиванием карбонатов из гумусового и подстилающего горизонтов. В профиле диагностируются слабые признаки элювиально-иллювиальной дифференциации по илу, физической глине и валовому содержанию  $R_2O_3$ , которая может морфологически проявляться в наличии гумусовых затеков, бурых пленок и корочек по граням структурных отдельностей в горизонте В.

Основным отличительным признаком выщелоченных черноземов является отсутствие карбонатов в гумусовом горизонте и, по крайней мере, в верхней половине переходного горизонта. Морфологически черноземы относят к выщелоченным в случае положения линии вскипающей от 10%-ной HCl вблизи нижней границы горизонта АВ. Аналитически глубина выщелоченности гумусового горизонта определяется по присутствию карбонатов алкалометрическим методом ([Руководство по лабораторным методам..., 1990](#)).

Использование в сельскохозяйственном производстве выщелоченных черноземов часто приводит к негативным изменениям их кислотно-основных свойств (увеличению обменной и гидролитической кислотности, уменьшению степени насыщенности почв основаниями), что особенно сильно проявляется при внесении физиологически кислых удобрений. Такие тенденции изменения свойств выщелоченных черноземов приводят к снижению уровня их плодородия и продуктивности сельскохозяйственных культур.

### ***Оподзоленность черноземов***

**Оподзоленность является одним из факторов снижения плодородия черноземов.**

**Оподзоленные черноземы** генетически близки темно-серым лесным почвам. Почвы характеризуются совмещением процесса интенсивного накопления гумуса и слабой элювиально-иллювиальной дифференциацией почвенного профиля под влиянием миграции кислых растворов. Основным отличительным морфологическим признаком оподзоленных черноземов является наличие осветленной, мучнисто-белесой присыпки, покрывающей структурные отдельности в нижней части горизонта А и в верхней

части переходного горизонта В, которые могут обособляться в подгоризонты А" и А"В. Оподзоленные черноземы промыты от карбонатов до глубины 1–1.5 м.

При сельскохозяйственном использовании оподзоленных черноземов отмечаются негативные изменения их кислотно-основных свойств (увеличение обменной и гидролитической кислотности, уменьшение степени насыщенности почв основаниями), которые в большинстве случаев выражены сильнее в сравнении с выщелоченными черноземами. К тому же в выщелоченных иллювиальных горизонтах оподзоленных черноземов могут заметно ухудшаться агрофизические свойства.

### ***Уплотнение гумусовых / пахотных горизонтов***

**Уплотнение гумусовых горизонтов оказывает негативное влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур.** Появление уплотненных горизонтов в профиле почв может быть вызвано как в результате образования слитых и остаточно-солонцеватых горизонтов, так и вследствие антропогенного влияния, например, воздействия ходовой части техники на поверхность почвы.

Черноземы, каштановые, серо-бурые и другие почвы степной и пустынной зон могут быть остаточно-солонцеватыми (безнатровыми), то есть характеризоваться морфологическими (намечающаяся слоеватость гумусового горизонта, уплотненность горизонта В и т. п.), физическими и химическими свойствами солонцеватых почв при отсутствии или очень низком содержании (менее 3% ЕКО) обменного натрия, что должно быть подтверждено аналитически результатами определения содержания обменного натрия ([ГОСТ 26950-86](#)) и величин емкости катионного обмена ([ГОСТ 17.4.4.01-84](#)).

В профиле черноземов и лугово-черноземных глинистых почв на глубине ниже 0.3 метра может располагаться исключительно плотный (слитой) иловато-глинистый гумусовый горизонт. Окраска этого горизонта варьирует от черной до оливково-бурой. Он очень плотный, вязкий и пластичный во влажном состоянии, трещиноватый в сухом. Разбит на глыбистые или тумбовидные отдельности, ширина которых превышает 15–20 см. Характеризуется обязательным сочетанием трех показателей: 1) хаотически

ориентированные поверхности скольжения относительно небольших размеров (менее 20 см в одном измерении), имеющие угол наклона от  $10^\circ$  до  $60^\circ$  к горизонтали; 2) односторонние и/или двусторонние клиновидные структурные отдельности субгоризонтальной ориентации, верхние и нижние грани которых представлены поверхностями скольжения, сходящимися в виде клина; 3) сравнительно крупные (более 20–30 см в одном направлении) поверхности скольжения.

Переуплотненные почвы диагностируются по наличию пошоисто-глыбистой структуры, спрессованной и практически лишенной внутриагрегатных пор, а также по сильному растрескиванию в сухом состоянии с образованием крупных тумбовидных блоков 30–50 см в диаметре.

Появление переуплотненных почв связано с компрессионным воздействием и сжатием почвы в результате работы движителей тяжелой сельскохозяйственной техники при обработке почв, уходе за посевами, уборке урожая и пр.

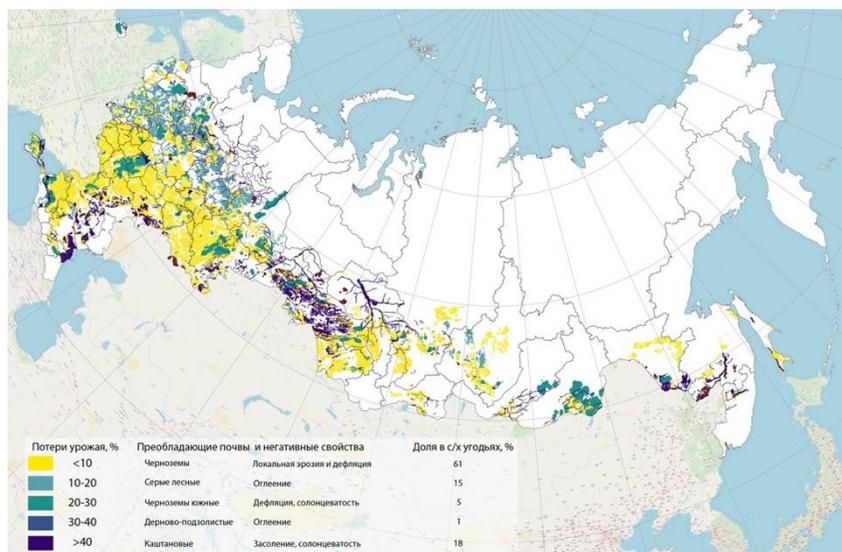
Остаточно-солонцеватые, слитые и переуплотненные почвы обладают неудовлетворительным для роста и развития растений водным, воздушным и тепловым режимами, негативными биологическими, агрофизическими свойствами, что обусловлено плотностью сложения, значительно превосходящей оптимальную (более  $1.4 \text{ г/см}^3$ , иногда достигающей  $1.8 \text{ г/см}^3$ ).

С целью диагностики переуплотненных почв для определения плотности их сложения используют метод режущего кольца ([ГОСТ 5180-2015](#)).

Пространственное размещение индикаторов негативных свойств почв носит мозаичный характер (рис. 3). Такая картина связана с тем, что развитие негативных свойств обусловлено либо агрогенной деградацией пахотных почв в результате игнорирования почвоохранных норм возделывания сельскохозяйственных культур, либо особенностями литолого-геоморфологических условий. Оба перечисленных фактора не имеют прямой связи с зональными агроклиматическими условиями.

Ареалы индикаторов негативных свойств почв, определяющие наименьшие потери урожайности зерновых (желто-голубые цвета, потери урожая менее 20%), занимают около 76% площади

сельскохозяйственных угодий. Территории заняты пахотными дерново-подзолистыми, серыми лесными и черноземными почвами. Площади с индикаторами негативных свойств почв, характеризующими средние значения потери урожайности зерновых культур (зеленовато-голубой и светло-голубой цвета, потери урожая в интервале 20–40%) занимают почти 6% пахотных угодий. Здесь получили развитие пахотные дерново-подзолистые, бурые лесные и серые лесные почвы. Территории с индикаторами негативных свойств почв с относительно высокими потерями урожая (синий цвет, потери урожая более 40%) занимают около 18% пашни. Территории заняты пахотными каштановыми солонцеватыми и засоленными почвами.



**Рис. 3.** Индикаторы негативных свойств почв сельскохозяйственных угодий.

**Fig. 3.** Indicators of unfavourable soil properties in agricultural lands.

Оценка негативных свойств является основной задачей агрономической интерпретации и обобщения данных крупномасштабных почвенных обследований в целях группировки и ранжи-

рования почв по уровню плодородия и снижающим его негативным факторам ([Общесоюзная инструкция... 1973](#)).

Наименования негативных свойств содержатся, как правило, в названиях почв. Например, из названия почвы “Чернозем южный малогумусный среднемощный среднесолонцеватый тяжело-суглинистый” следует, что почва относится к группе почв с негативным свойством “солонцеватость”.

В случае наличия в почве нескольких индикаторов негативных свойств их совокупное влияние на качество почв определяется произведением всех поправочных коэффициентов.

### **Качество почв сельскохозяйственных угодий**

МРНУ [1] отражает эмпирически установленные взаимосвязи рассмотренных выше индикаторов, позволяя провести ранжирование качества почв сельскохозяйственных угодий РФ, выраженное в номинальной шкале, баллах бонитета или нормативной урожайности зерновых культур (табл. 1). Использование геоинформационной БД ПСХР позволяет построить карту географического размещения качества почв по 54 695 КЕКП (рис. 4).

Анализ карты качества почв сельскохозяйственных угодий (рис. 4) показал, что площадь под черноземными почвами высокого качества, имеющими бонитет более 80 баллов и нормативную урожайность, превышающую 40 ц/га, составляет около 10% площади пахотных земель страны. Более 74% площади пахотных почв, представленных черноземами оподзоленными и выщелоченными в северной части и черноземами южными в южной части ареала сельскохозяйственных угодий РФ, характеризуются качеством “выше среднего” и “средним” (соответственно 40–60 и 20–40 баллов бонитета) для выращивания зерновых или, соответственно, нормативную урожайность 30–40 ц/га и 20–30 ц/га.

Площади почв из категории “ниже среднего”, включающих в северной части дерново-подзолистые и светло-серые почвы, а также каштановые почвы в южной части ареала пахотных земель РФ, имеющих 40–60 баллов бонитета и нормативную урожайность зерновых 10–20 ц/га, составляют около 14%. Почвы низкого качества, имеющие бонитет менее 20 баллов и нормативную урожай-

ность меньше 10 ц/га, занимают около 10% площади пашни страны.

**Таблица 1.** Эквивалентность категорий качества почв земель сельскохозяйственного назначения

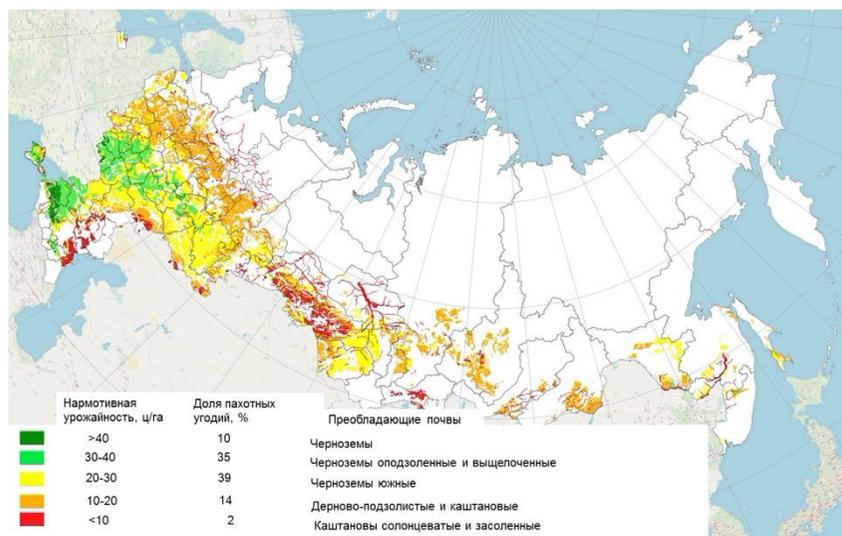
**Table 1.** Equivalence of soil quality categories of agricultural lands

<b>Индекс качества почв</b>	<b>Бонитет почв, балл</b>	<b>Нормативная урожайность зерновых, ц/га</b>
Высокий	> 80	> 40
Выше среднего	60–80	30–40
Средний	40–60	20–30
Ниже среднего	20–40	10–20
Низкий	< 20	< 10

Анализ вклада (относительной значимости) отдельных индикаторов в географическое размещение земельных угодий по качеству почв в значительной мере контролируется негативными свойствами почв, которые могут быть улучшены при более строгом соблюдении почвоохранных технологий возделывания культур или проведении мелиоративных мероприятий. Определенное влияние на снижение качества пахотных почв оказывают и неудовлетворительные агроклиматические условия – низкая теплообеспеченность северных регионов и дефицит увлажнения южных районов.

Подход к оценке качества почв на основе выбора индикаторов, включая параметры, используемые в модели расчета качества (МРНУ), соответствует методам, применяемым в США, Канаде, Китае и др. Перечень предложенных в статье индикаторов содержит параметры, входящие в обсуждаемую новую почвенную стратегию Европейского Союза “Здоровые почвы”, такие как поддержание плодородия, борьба с эрозией, увеличение содержа-

ния органического вещества, определение индикаторов “хорошего экологического состояния почв” и др. ([Healthy soils..., 2020](#)).



**Рис. 4.** Качество почв сельскохозяйственных угодий (нормативная урожайность зерновых культур).

**Fig. 4.** Soil quality in agricultural lands (standard grain yield).

Близкий по сути подход применяется в ФАО “Глобальное агроэкологическое зонирование” ([IIASA/FAO, 2012](#)). В основе обсуждаемого метода определения качества почв на базе МРНУ, так же как и в зарубежных моделях, построенных на принципах оценки земель (land evaluation), лежит использование специфических для каждой культуры зависимостей (рейтингов) “фактор / свойство / урожай” и их агрегация по принципу какого-либо интегрирующего алгоритма. Этот вывод важен для понимания того, что представленный в статье подход находится в ряду современных методов оценки качества сельскохозяйственных почв, используемых в мире. При этом необходимо подчеркнуть, что использованный в нашей работе подход к оценке качества почв сельскохозяйственных угодий РФ имеет неоспоримое достоинство, поскольку базируется на огромном научно-практическом

отечественном опыте фундаментальных почвенных исследований, земельно-устроительных и земельно-оценочных кадастровых работ, исторически накопленных полевых и экспериментальных данных Госкомзема, Гипроводхоза и др. Трансляция этого опыта в цифровой формат не только позволяет сохранить накопленные знания, но также открывает возможности их использования в разработке современных информационных технологий для охраны и рационального использования почвенных ресурсов страны.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлено три группы индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий РФ (ИКПСХ), включая индикаторы агроклиматических условий, индикаторы свойств почв и индикаторы негативных свойств почв. Выбор индикаторов качества почв соответствует требованиям модели расчета нормативной урожайности сельскохозяйственной культуры (МРНУ). Модель оперирует на основе 10 107 ТЕКП, связанных с ними 54 695 КЕПК геоинформационной базы данных “Почвы сельскохозяйственных угодий РФ”.

МРНУ отражает эмпирически установленные взаимосвязи рассмотренных выше индикаторов с урожаем сельскохозяйственных культур, позволяя провести ранжирование качества почв сельскохозяйственных угодий и построить карту географического размещения качества почв.

Показано, что площадь черноземных почв высшего качества, имеющих бонитет более 80 баллов и нормативную урожайность зерновых культур, превышающую 40 ц/га, составляет около 10% ареала пахотных почв, при том что доля площади черноземных почв в пахотном фонде страны составляет 66% ([Столбовой, 2018](#)). Более 74% массива пахотных почв, представленных черноземами оподзоленными и выщелоченными в северной части земледельческой зоны и черноземами южными в южной части ареала сельскохозяйственных угодий РФ, по качеству относятся к категориям “выше среднего” и “средние”, имеющим бонитет соответственно 60–80 и 40–60 баллов, обеспечивая урожайность зерновых 30–40 ц/га и 20–30 ц/га соответственно. Площади почв из категории “ниже среднего”, включающих в северной части дерново-

подзолистые и светло-серые почвы, а также каштановые почвы в южной части ареала пахотных земель РФ, имеющих 40–60 баллов бонитета и нормативную урожайность зерновых 10–20 ц/га, составляют около 14%. Почвы низкого качества, имеющие бонитет менее 20 баллов и нормативную урожайность меньше 10 ц/га, занимают около 10% площади пашни страны.

Предложенные индикаторы обладают универсальностью, отвечая требованиям оценки качества почв сельскохозяйственных угодий, государственного мониторинга сельскохозяйственных земель и кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения. Отмеченная универсальность позволяет рекомендовать использование индикаторов качества почв для разработки нормативов по охране и рациональному использованию почв в рамках “регуляторной гильотины” новой генерации, включая внедрение современных цифровых технологий и ГИС-подходов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богатырев Л.Г., Маслов М.Н., Бенедиктова А.И., Макаров М.И.* Оценка почв и земель (основные показатели и критерии) / Науч. ред. Г.С. Куст. М.: МАКС Пресс, 2017. 192 с.
2. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества.
3. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.
4. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки.
5. ГОСТ 26424-85. Почвы. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке.
6. ГОСТ 26425-85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке.
7. ГОСТ 26426-85. Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке.
8. ГОСТ 26427-85. Почвы. Метод определения натрия и калия в водной вытяжке.
9. ГОСТ 26428-85. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке.
10. ГОСТ 26950-86. Почвы. Метод определения обменного натрия.
11. ГОСТ 17.4.4.01-84. Охрана природы. Почвы. Методы определения емкости катионного обмена.

12. ГОСТ 28268-89. Межгосударственный стандарт. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений.
13. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
14. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2014. 768 с.
15. Качество почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации (для кадастровой оценки сельскохозяйственных земель). Версия 1.0 / А.Л. Иванов (гл. ред.). М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2020. 681 с. (в печати).
16. Качество почвы. Определение воздействия загрязняющих веществ на флору почвы. Часть 2. Воздействие загрязненной почвы на всхожесть и ранний рост высших растений. URL: <http://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=5307547>.
17. *Кирюшин В.И.* Оценка качества земель и плодородия почв для формирования систем земледелия и агротехнологий. Почвоведение. 2007. № 7. С. 873–880.
18. Концепция развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, и формирования государственных информационных ресурсов об этих землях на период до 2020 г. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.07.2010 № 1292-р.
19. Методические рекомендации по оценке качества и классификации земель по их пригодности для использования в сельском хозяйстве. Утверждены Федеральной службой земельного кадастра России. М. 2003. 169 с.
20. Методические указания о проведении государственной кадастровой оценки. Приказ МЭР РФ № 226 от 12 мая 2017 года.
21. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. М.: Колос, 1973. 48 с.
22. *Оглезнев А.К. и др.* Справочник агроклиматического оценочного зонирования субъектов Российской Федерации. М.: Маросейка, 2010, 208 с.
23. *Оглезнев А.К. и др.* Оценка качества и классификация земель по их пригодности для использования в сельском хозяйстве (практическое пособие). М. 2007. 131 с.
24. Оценка земель Краснодарского края. Отчет Кубаньгипрозем. Т. 2. Кн. 1. Оценочные шкалы почв по продуктивности. Краснодар, 1989.

25. Постановление Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. № 149 “О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические показатели наилучших доступных технологий”
26. Природно-сельскохозяйственное районирование земельного фонда СССР. М.: Колос, 1983. 336 с.
27. Сапожников П.М., Носов С.И. Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации. М.: ООО “НИПКЦ ВОСХОД–А”, 2012. 160 с.
28. Столбовой В.С. Почвенные ресурсы России – современные вызовы. Материалы по изучению русских почв. Сб. науч. докл. Вып. 11 (38). СПб. 2018. С. 24–41.
29. Хитров Н.Б., Понизовский А.А. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв. М., 1990, 238 с.
30. Bunemann E.K., Bongiorno G., Bai Z.G., Creamer R.E., De Deyn G., de Goede R. et al. Soil quality – a critical review // Soil Biol. Biochem. 2018. No. 120. P. 105–125. DOI: [10.1016/j.soilbio.2018.01.030](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030).
31. Global Agroecological Zones (GAEZ v 3.0). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy. 2012.
32. Healthy soils – new EU soil strategy. URL: <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12634-New-EU-Soil-Strategy-healthy-soil-for-a-healthy-life>.
33. Nortcliff S. Standardization of soil quality attributes // Agriculture Ecosystems & Environment. 2002. Vol. 88. Iss. 2. P. 161–168.
34. Soil Health. USDA, National Resources Conservation Service. URL: <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/>.

## REFERENCES

1. Bogatyrev L.G., Maslov M.N., Benediktova A.I., Makarov M.I., Kust G.S. (Ed.), *Otsenka pochv i zemel' (osnovnye pokazateli i kriterii)* (Assessment of soils and lands (main indicators and criteria)), Moscow: MAKSS Press, 2017, 192 p.
2. GOST 26213-91. *Pochvy. Metody opredeleniya organicheskogo veshchestva* (Soils. Methods for the determination of organic matter).
3. GOST 12536-2014. *Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya granulometricheskogo (zernovogo) i mikroagregatnogo sostava* (Soils. Methods for

laboratory determination of particle size distribution and micro-aggregate composition.).

4. GOST 26423-85. *Pochvy. Metody opredeleniya udel'noi elektricheskoi provodimosti, rN i plotnogo ostatka vodnoi vytyazhki* (Soils. Methods for determining the specific electrical conductivity, pH and solid residue of the aqueous extract).

5. GOST 26424-85. *Pochvy. Metod opredeleniya ionov karbonata i bikarbonata v vodnoi vytyazhke* (Soils. Method for determination of carbonate and bicarbonate ions in an aqueous extract).

6. GOST 26425-85. *Pochvy. Metody opredeleniya iona khlorida v vodnoi vytyazhke* (Soils. Methods for determination of chloride ion in aqueous extract).

7. GOST 26426-85. *Pochvy. Metody opredeleniya iona sul'fata v vodnoi vytyazhke* (Soils. Methods for the determination of sulfate ion in aqueous extract).

8. GOST 26427-85. *Pochvy. Metod opredeleniya natriya i kaliya v vodnoi vytyazhke* (Soils. Method for the determination of sodium and potassium in an aqueous extract).

9. GOST 26428-85. *Pochvy. Metody opredeleniya kal'tsiya i magniya v vodnoi vytyazhke* (Soils. Methods for the determination of calcium and magnesium in an aqueous extract).

10. GOST 26950-86. *Pochvy. Metod opredeleniya obmennogo natriya* (Soils. Method for the determination of exchangeable sodium).

11. GOST 17.4.4.01-84. *Okhrana prirody. Pochvy. Metody opredeleniya emkosti kationnogo obmena* (Protection of Nature. Soils. Methods for determining the capacity of cation exchange).

12. GOST 28268-89. *Mezhhgosudarstvennyi standart. Pochvy. Metody opredeleniya vlazhnosti, maksimal'noi gigroskopicheskoi vlazhnosti i vlazhnosti ustoichivogo zavyadaniya rastenii* (Interstate standard. Soils. Methods for determination of moisture content, maximum hygroscopic moisture content and moisture content of sustainable plant wilting).

13. GOST 5180-2015. *Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya fizicheskikh kharakteristik* (Soils. Methods for laboratory determination of physical characteristics).

14. *Edinyi gosudarstvennyi reestr pochvennykh resursov Rossii. Versiya 1.0.* (Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0.), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2014, 768 p.

15. Ivanov A.L. (Ed.), *Kachestvo pochv sel'skokhozyaistvennykh ugodii Rossiiskoi Federatsii (dlya kadastrvoi otsenki sel'skokhozyaistvennykh zemel')*. Versiya 1.0 (Soil quality of agricultural land in the Russian Federation (for

cadastral valuation of agricultural land). Version 1.0), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2020, 681 p. (in print).

16. Soil quality – Determination of the effects of pollutants on soil flora – Part 2: Effects of contaminated soil on the emergence and early growth of higher plants (ISO 11269-2:2012); German version EN ISO 11269-2:2013. URL: <http://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=5307547>.

17. Kiryushin V.I., Otsenka kachestva zemel' i plodorodiya pochv dlya formirovaniya sistem zemledeliya i agrotekhnologii (Assessment of land quality and soil fertility for the formation of farming systems and agricultural technologies), *Pochvovedenie*, 2007, No. 7, pp. 873–880.

18. *Kontseptsiya razvitiya gosudarstvennogo monitoringa zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya i zemel', ispol'zuemykh dlya vedeniya sel'skogo khozyaistva v sostave zemel' inykh kategorii, i formirovaniya gosudarstvennykh informatsionnykh resursov ob etikh zemlyakh na period do 2020 g. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 30.07.2010 № 1292-p.* (The concept for the development of state monitoring of agricultural land and land used for agriculture as part of land of other categories, and the formation of state information resources about these lands for the period until 2020. Order of the Government of the Russian Federation of 30.07.2010 No. 1292-r.)

19. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke kachestva i klassifikatsii zemel' po ikh prigodnosti dlya ispol'zovaniya v sel'skom khozyaistve. Uтверждены Федеральной службой земельного кадастра России* (Methodical recommendations for assessing the quality and classification of lands according to their suitability for use in agriculture. Approved by the Federal Land Cadastre Service of Russia), Moscow, 2003, 169 p.

20. *Metodicheskie ukazaniya o provedenii gosudarstvennoi kadaastrovoi otsenki. Prikaz MER RF № 226 ot 12 maya 2017 goda* (Guidelines for conducting state cadastral valuation. Order of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation No. 226 dated May 12, 2017).

21. *Obshchесоyuznaya instruktsiya po pochvennym obsledovaniyam i sostavleniyu krupnomasshtabnykh pochvennykh kart zemlepol'zovaniya* (All-Union instruction on soil surveys and compilation of large-scale soil land use maps), Moscow: Kolos, 1973, 48 p.

22. Ogleznev A.K. et al., *Spravochnik agroklimaticheskogo otsenochnogo zonirovaniya sub"ektov Rossiiskoi Federatsii* (Directory of agroclimatic assessment zoning of the subjects of the Russian Federation), Moscow: Maroseika, 2010, 208 p.

23. Ogleznev A.K. et al., *Otsenka kachestva i klassifikatsiya zemel' po ikh prigodnosti dlya ispol'zovaniya v sel'skom khozyaistve (prakticheskoe posobie)* (Assessment of the quality and classification of lands according to their suitability for use in agriculture (practical guide)), Moscow, 2007, 131 p.

24. *Otsenka zemel' Krasnodarskogo kraya. Otchet Kuban'giprozem. T. 2. Kn. 1. Otsenochnye shkaly pochv po produktivnosti* (Assessment of the lands of the Krasnodar Territory. Kubangiprozem report. T. 2. Book. 1. Evaluation scales of soil productivity), Krasnodar, 1989.
25. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 13 fevralya 2019 g. № 149 "O razrabotke, ustanovlenii i peresmotre normativov kachestva okruzhayushchei sredy dlya khimicheskikh i fizicheskikh pokazatelei sostoyaniya okruzhayushchei sredy, a takzhe ob utverzhdenii normativnykh dokumentov v oblasti okhrany okruzhayushchei sredy, ustanavlivayushchikh tekhnologicheskie pokazateli nailuchshikh dostupnykh tekhnologii"* (Decree of the Government of the Russian Federation of February 13, 2019 No. 149 "On the development, establishment and revision of environmental quality standards for chemical and physical indicators of the state of the environment, as well as on the approval of regulatory documents in the field of environmental protection, establishing technological indicators of the best available technologies").
26. *Prirodno-sel'skokhozyaistvennoe raionirovanie zemel'nogo fonda SSSR* (Natural and agricultural zoning of the land fund of the USSR), Moscow: Kolos, 1983, 336 p.
27. Sapozhnikov P.M., Nosov S.I., *Gosudarstvennaya kadastruvaya otsenka zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya Rossiiskoi Federatsii* (State cadastral valuation of agricultural land in the Russian Federation), Moscow: OOO "NIPKTS VOSKhOD-A", 2012, 160 p.
28. Stolbovoi V.S., *Pochvennye resursy Rossii – sovremennye vyzovy. Materialy po izucheniyu russkikh pochv* (Soil resources of Russia – modern challenges. Materials for the study of Russian soils), *Sb. nauch. dokl.* (Collection of scientific reports), Iss. 11 (38), St-Petersburg, 2018, pp. 24–41.
29. Khitrov N.B., Ponizovsky A.A., *Guidance on laboratory methods for studying the ion and salt composition of neutral and alkaline mineral soils*, Moscow, 1990, 238 p.
30. Bunemann E.K., Bongiorno G., Bai Z.G., Creamer R.E., De Deyn G., de Goede R. et al., Soil quality – a critical review, *Soil Biol. Biochem.*, 2018, No. 120, pp. 105–125, DOI: [10.1016/j.soilbio.2018.01.030](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030).
31. Global Agroecological Zones (GAEZ v3.0), IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy. 2012.
32. *Healthy soils – new EU soil strategy*, URL: <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12634-New-EU-Soil-Strategy-healthy-soil-for-a-healthy-life>.
33. Nortcliff S., Standardization of soil quality attributes, *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2002, Vol. 88, Iss. 2, pp. 161–168.
34. Soil Health, USDA, National Resources Conservation Service, URL: <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/>.