

Оригинальная статья


DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/16>


УДК 631.445.4:631.42




Агроэкологическая характеристика черноземов Каменной степи: влияние растительных сообществ и распашки

Елена Н. Тихонова¹✉, tichonova-9@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-9039-9822>

Надежда С. Горбунова², vilian@list.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-7986-8106>

Сергей С. Шешницан¹✉, sheshnitsan@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-8027-855X>

Геннадий А. Одноралов¹, kafedra.laip@inbox.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-7154-6807>

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Университетская площадь, 1, г. Воронеж, 394018, Россия

Изменения в запасах углерода в почвенном покрове влияют на концентрацию CO₂ в атмосфере и глобальный углеродный баланс. Несмотря на доказанную эффективность агролесомелиорации в борьбе с эрозией, потерей плодородия почв, имеется много неоднозначных данных, свидетельствующих о необходимости дальнейшего изучения влияния облесения на чернозёмные почвы. Каменная степь представляет особый интерес для мониторинговых исследований в рамках проекта по определению углеродного баланса агроэкосистем (карбоновые полигоны). Расположенные в непосредственной близости лесные полосы принимают активное участие не только в улавливании углекислого газа, но и в эволюции почвенного покрова. Настоящее исследование предполагает анализ основных агроэкологических показателей черноземов Каменной степи и оценку влияния распашки на их трансформацию. Важность исследований заключается и в том, что изучалось влияние различных типов растительных сообществ на почвенный покров. Изучение основных химических показателей черноземов осуществлялось классическими химическими методами, анализ тяжелых металлов проводился вольтамперометрическим методом. Изученные черноземы обыкновенные имеют высокое содержание органического вещества, достигающее в верхних горизонтах 7-8%, обогащены элементами минерального питания и имеют благоприятные физико-химические показатели. Лесная и лугово-степная растительность способствует обогащению почвы органическими остатками, в то время как вспашка и минерализация органических веществ на пахотных землях приводят к снижению процентного содержания гумуса. Для наиболее полной агроэкологической характеристики исследуемых черноземов изучалось валовое содержание и подвижные соединения тяжелых металлов – свинца и кадмия. Анализ полученных данных позволяет говорить об отсутствии загрязнения исследуемой территории. При этом органическое вещество исследуемых черноземов способно сорбировать изучаемые металлы и удерживать их в недоступном состоянии. Данное явление доказывается довольно высокими коэффициентами корреляции между гумусом и валовым содержанием тяжелых металлов ($r = 0,946$ для Pb и $r = 0,975$ для Cd при $p < 0,00001$). Следует подчеркнуть то, что лесополосы способны выступать своеобразным биогеохимическим барьером на пути латеральной миграции исследуемых тяжелых металлов. Кадмий является довольно мобильным элементом, способным мигрировать в сопредельные среды. Поэтому необходим регулярный контроль за агроэкологическим состоянием черноземов Каменной степи.

Ключевые слова: Каменная степь, черноземы, растительные сообщества, гумус, тяжелые металлы, свинец, кадмий, агроэкологическая оценка, карбоновый полигон.

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1023013000012-7 «Биогеохимический мониторинг цикла углерода в природных и антропогенных экосистемах Воронежской области в условиях глобального изменения климата (FZUR-2023-0001)».

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.


Для цитирования: Агроэкологическая характеристика черноземов Каменной степи: влияние растительных сообществ и распашки / Е. Н. Тихонова, Н. С. Горбунова, С. С. Шешницан, Г. А. Оdnоралов // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 3 (51). – С. 236–248. – Библиогр.: с. 244–248 (26 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/16>.


Поступила 02.10.2023. *Пересмотрена* 17.11.2023. *Принята* 17.11.2023. *Опубликована онлайн* 30.11.2023.

Article

Agro-ecological characterization of chernozems of the Kamennaya steppe: the impact of vegetation and tillage

Elena N. Tikhonova¹✉, tikhonova-9@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-9039-9822>

Nadezhda S. Gorbunova², vilian@list.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-7986-8106>

Sergey S. Sheshnitsan¹✉, sheshnitsan@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-8027-855X>

Gennadiy A. Odnorolov¹, kafedra.laip@inbox.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-7154-6807>

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation

²Voronezh State University, Universitetskaya square, 1, Voronezh, 394018, Russian Federation

Abstract

Changes in soil carbon stocks have a significant impact on atmospheric CO₂ concentrations and the global carbon balance. Despite the proven effectiveness of agroforestry in erosion control and prevention of soil fertility loss, there are many controversial data suggesting that the impact of afforestation on Chernozem soils should be further investigated. The Kamennaya Steppe site (arable land surrounded by shelterbelt forests) is a reference site for monitoring studies at the Voronezh Carbon Test Site, where the carbon balance of agro-ecosystems is being studied and the ecological role of shelterbelt forests in changing soil properties and carbon sequestration is being evaluated. The study was focused on the evaluation of agro-ecological characteristics and the impact of tillage on Chernozems of Kamennaya Steppe under different vegetation types. The study of the chemical properties of chernozems was carried out using classical chemical methods; the analysis of heavy metals was carried out using the voltampermetric method. Comprehensive agro-ecological evaluation showed that the studied Vorony-Calci Chernozems had a high content of humus, which reached 7-8% in the upper horizons, enriched with mineral nutrition elements, and had favorable physical and chemical properties. Forest and grassland vegetation contribute to enrichment of the soil with organic residues, while tillage and mineralization of organic matter on arable land led to a decrease in humus content. Data analysis suggested that the study area did not suffer from contamination. Furthermore, it was found that the organic matter of the studied chernozems was able to bind the studied metals and retain them in an unavailable state. This phenomenon was supported by rather high correlations between humus and total heavy metal content ($r = 0.946$ for Pb and $r = 0.975$ for Cd at $p < 0.00001$). It should be emphasized that shelterbelt forests could act as a biogeochemical barrier to the lateral migration

of heavy metals. Cadmium is a rather mobile element potentially capable to migrate to adjacent environments. Therefore, regular monitoring of the agro-ecological condition of the Chernozems of the Kamennaya Steppe is required.

Keywords: *Kamennaya steppe, Chernozems, vegetation, humus, heavy metals, lead, cadmium, agro-ecological assessment, carbon test site.*

Funding: the study was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 1023013000012-7 "Biogeochemical monitoring of the carbon cycle in natural and anthropogenic ecosystems of the Voronezh region under conditions of global climate change (FZUR-2023-0001)").

Acknowledgments: authors thank the reviewers for their contribution to the peer review.

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

For citation: Tikhonova E. N., Gorbunova N. S., Sheshnitsan S. S., Odnoralov G. A. (2023). Agroecological characterization of Chernozems of the Kamennaya Steppe: the impact of vegetation and tillage. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 13, No. 3 (51), pp. 236-248 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/16>.

Received 02.10.2023. **Revised** 17.11.2023. **Accepted** 17.11.2023. **Published online** 30.11.2023.

Введение

По оценкам исследователей, глобальный почвенный пул углерода более чем в три раза превышает атмосферный и примерно в четыре раза – биомассы. Почвенные пулы углерода считаются как важными источниками, так и поглотителями CO₂ из атмосферы, поэтому любое изменение их запасов оказывает существенное воздействие на концентрацию CO₂ и глобальный баланс углерода в целом [1]. Создание защитных лесных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения широко признано как высокоэффективная стратегия борьбы с ветровой и водной эрозией пахотных почв [2], которая благоприятствует сохранению почвенного плодородия и запасов углерода в почвенном резервуаре [3, 4]. Однако неоднозначные результаты исследований реакции почв на агролесомелиорацию [5-7] свидетельствуют о необходимости проведения дополнительного изучения, что позволит лучше понять потенциал лесоразведения для увеличения секвестрации углерода на сельскохозяйственных землях.

Выбор территории Каменной степи для включения в состав исследовательского стационара карбонового полигона в Воронежской области был не случаен. С одной стороны, эта территория представляет собой классический вариант адаптивно-ландшафтной системы земледелия и является ре-

презентативным типом агроэкосистем Центрального Черноземья [8]. С другой стороны, территория находится вдали от большинства источников антропогенного загрязнения, которыми являются любые добывающие и перерабатывающие предприятия, а также крупные автомагистрали с высокой нагрузкой.

Территория Каменной степи фигурировала в качестве одного из ведущих участков исследования в экспедиции, организованной В.В. Докучаевым, с целью создания мероприятий по борьбе с засухой в степных районах. В настоящий момент территория сохранила свою уникальность и переведена в статус заказника федерального подчинения. Участок позволяет получить уникальные данные, которые в дальнейшем можно использовать для ведения мониторинговых исследований [9, 10], в том числе наблюдения за поведением естественной радиоактивности почв [11].

Особо следует подчеркнуть длительность функционирования лесных полос, которые оказывают, несомненно, важную экологическую роль [12]. Под пологом лесной растительности формируются интразональные биоклиматические условия. Они определяются, прежде всего, повышением влажности, как наземной части, так и почвенного покрова относительно незатененных пахотных участков. Оптимальная влажность, отсутствие рез-

ких перепадов температур создают более комфортные условия для усиления роста растительных организмов. Ежегодное поступление растительного опада и отмерших корней благоприятно сказывается на положительном балансе гумуса [13]. Кроме того, отмечается оптимизация физических (плотность сложения, содержание физической глины и ила), водно-физических (водо- и воздухопроницаемость), физико-химических показателей почв под лесными насаждениями. Улучшение описанных свойств приводит к накоплению микробной биомассы, усилению дыхательной и микробиологической активности, дополнительной фиксации азота [14]. В современных экологических условиях крайне важным является возможность потребления углекислого газа лесными насаждениями [15-17].

В цели данной работы входила агроэкологическая характеристика черноземов Каменной степи, расположенных под различными растительными сообществами (лугово-степная и древесная растительность), а также оценка влияние распашки на химические и физико-химические свойства черноземов.

Материалы и методы

Объект и предмет исследований

Исследования проводились в течение полевых сезонов 2022-2023 гг. Объектом исследования являлась Каменная степь, расположенная в Таловском районе Воронежской области и имеет официальный статус государственного природного заказника федерального значения. Территория расположена на стыке Окско-Донской низменности и Среднерусской возвышенности. Для Каменной степи характерен довольно пестрый и разнообразный почвенный покров. Важной её особенностью является часто встречающиеся пятна и ареалы солонцов (Vertic Solonetz) [18, 19]. На рисунке 1 представлена исследуемая лесополоса №211, под которой залегают черноземы обыкновенные среднесиловые среднегумусные тяжелосуглинистые на покровных карбонатных глинах (Vorony-Calci Chernozems).



Рисунок 1. Лесополоса и прилегающая к ней пашня
 1 – (N 51.051847°, E 40.739985°); 2 – (N 51.051302°, E 40.743098°); 3 – (N 51.050917°, E 40.746058°); 4 – (N 51.050580°, E 40.748916°); 5 – (N 51.052328°, E 40.747665°)

Источник: собственные данные авторов

Figure 1. Shelterbelt forest and adjacent arable land

Source: authors' own data

Возраст лесополосы насчитывает более 60 лет, поскольку начало ее закладки было проведено в 1959 году. На небольшом участке (850×22 м), который занимает лесная полоса, диагонально-групповым способом, заложили четыре секции следующих древесных пород: лиственница сибирская (*Larix siberica* Ldb.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и береза бородавчатая (*Betula verrucosa* Ehrh).

Указанные на схеме точки копания (рис. 1) отражают схему заложения почвенных разрезов в исследуемой лесополосе и на расположенной в непосредственной близости пашне.

Объектами исследования являлись и оба варианта залежных участка – косимый и некосимый (рис. 2). Растительность этих участков представлена разнотравно-злаковыми сообществами, причем для некосимой залежи характерно присутствие древесных пород.

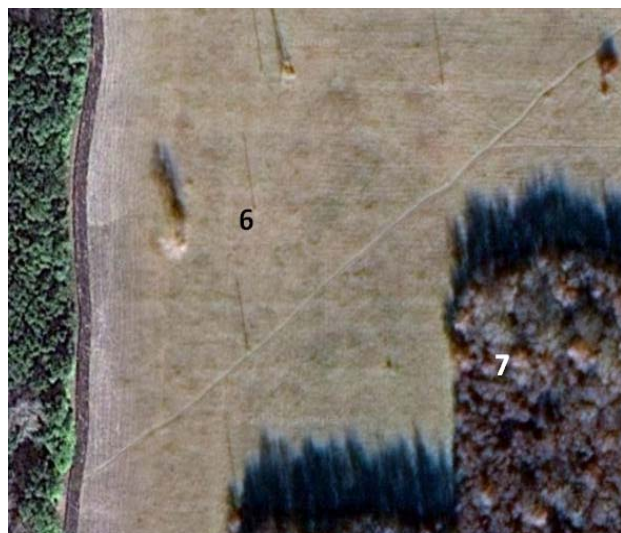


Рисунок 2. Залежные участки

- 6 – залежь косимая (N 51.032165°, E 40.728346°)
7 – залежь некосимая (N 51.031757°, E 40.729580°)

Источник: собственные данные авторов

Figure 2. Fallow plots

- 6 – mowing fallow (N 51.032165°, E 40.728346°)
7 – non-mowing fallow (N 51.031757°, E 40.729580°)

Source: authors' own data

– Дизайн эксперимента

Полнопрофильные разрезы закладывались до глубины залегания почвообразующих пород, которыми в данном регионе являются покровные карбонатные глины, а также лессовидные глины, подстилаемые коричнево-бурыми глинами [20].

Отбор образцов для проведения общих химических и физико-химических анализов осуществлялся каждые 20 см. В почвенных образцах определяли pH водной суспензии потенциометрическим методом, с помощью микропроцессорного иономера И-160МИ (Aquila, Moscow, Russia). В некарбонатных почвенных образцах pH < 7,5 проводили определение гидролитической кислотности по Каппену, обменные катионы Ca²⁺ Mg²⁺ в карбонатных и некарбонатных почвах. Определение щелочногидролизующего азота методом Корнфилда. Определение подвижного фосфора проводили по методу Ф.В. Чирикова. Определение подвижного фосфора в карбонатных почвах осуществляли в вытяжке Б.П. Мачигина, калия некарбонатных почв – в вытяжке А.Л. Масловой, калия карбонатных почв – в вытяжке Протасова. Валовое содержание

гумуса определяли по И.В. Тюрину [21]. Навески почв для анализов взвешивали на весах HR-100ARG. Для получения аналитического материала применялись химические реактивы и лабораторная посуда фирмы Vekton Российского производства (Санкт-Петербург).

Для характеристики экологического состояния черноземов Каменной степи исследовалось валовое содержание и обменные соединения наиболее опасных загрязнителей окружающей среды – свинца и кадмия. Данные формы соединений позволяют не только охарактеризовать общую ландшафтно-геохимическую обстановку, но и показать степень подвижности тяжелых металлов, их доступность для растительных организмов, а также показать возможные пути миграции этих элементов в ландшафте [22-25]. Для наиболее полного извлечения валового содержания свинца и кадмия из отобранных образцов, почву прокаливали при температуре 505°C в течение 3 часов, в муфельной печи SNOL (Umega, Lithuania). Далее из прокаленной почвы отбирались аналитические пробы (навески) массой 5,0±0,1 г, которые помещались в термостойкие химические колбы вместимостью 100 мл. К навескам приливали концентрированную азотную кислоту (HNO₃) (Vekton, St. Petersburg, Russia) в соотношении 1:1, и содержимое колб кипятили на лабораторных электроплитках в течение 10 минут. После охлаждения к содержимому колб приливали концентрированную (30%) перекись водорода (H₂O₂) (Vekton, St. Petersburg, Russia) и вновь кипятили в течение 10 минут. После второго кипячения и охлаждения, содержимое колб фильтровали через плотный фильтр (синяя лента) (Vekton, St. Petersburg, Russia). Объем полученного фильтрата помещали в мерную колбу вместимостью 50 мл и доводили дистиллированной водой до метки. Для извлечения подвижных соединений свинца и кадмия из почвенных образцов использовался кислый раствор (pH = 4.8) ацетатно-аммонийной буферной смеси (ААБ). Количественное отношение почва : раствор составляет 1:10 [24]. В полученных вытяжках определяли количество Pb и Cd методом инверсионной вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе ТА-4 (ТА-Lab, Tomsk, Russia). Географические координаты мест закладки

почвенных разрезов определяли с помощью GPS-навигаторов фирмы Garmin.

Анализ данных

Статистическая обработка полученных данных и графическое их отображение осуществлялось путем применения программного пакета STATISTICA 12. Для определения статистической значимости различий использовался непараметрический *U*-критерий Манна-Уитни. Взаимосвязь двух переменных доказывали с помощью коэффициента корреляции (*r*) Пирсона.

Результаты и обсуждение

Исследуемые черноземы обыкновенные имеют достаточно высокое содержание органического вещества. Так, количество гумуса достигает $8,1 \pm 0,51\%$ в слое 0-20 см залежных участков, почвы диагностируются как среднегумусные. В почвах под лесополосами также отмечается довольно высокое содержание гумуса, которое в среднем составляет $7,7 \pm 0,47\%$ (табл. 1). Лесная и лугово-степная растительность остается как на поверхности, так и в профиле исследуемых почв, интенсивно вовлекается в биологический круговорот, обогащая профиль органическими остатками. На территории

пашни описанного явления не наблюдается. Растения ежегодно выносят с урожаем довольно большие запасы веществ как органического, так и минерального происхождения. Кроме того, в результате распашки отмечается увеличение минерализации гумусовых веществ и их интенсивный распад. Все это приводит к сокращению содержания гумуса в верхних горизонтах почв до $6,2 \pm 0,38\%$, достоверно отличающемуся ($p < 0,05$) от необрабатываемых участков (табл. 1).

Реакция среды в верхних горизонтах исследуемых черноземов нейтральная и составляет на залежи $7,1 \pm 0,72$, на пашне $7,3 \pm 0,41$ единицы. Под лесополосами наблюдается незначительное подкисление среды за счет корневых выделений древесных растений, имеющих кислую природу (табл. 1). Следует отметить, что древесная растительность была высажена на территории Каменной степи с целью накопления и удержания влаги. С данной функцией лесополосы успешно справляются, что подтверждается более глубоким промачиванием почвенного профиля, следствием чего является и гидролитическая кислотность, которая была зафиксирована вплоть до глубины 60 см (табл. 1).

Таблица 2

Химические и физико-химические показатели черноземов обыкновенных Каменной степи под различными угодьями (среднее значение \pm ошибка среднего арифметического)

Table 2

Chemical and physico-chemical parameters of Vorony-Calciс Chernozems under various land use in Kamennaya Steppe (mean \pm SE)

Глубина, см Depth, cm	Гумус, % humus	pH _{водный} pH _{water}	Обменные катионы H ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , смоль(экв)/кг Exchangeable cations H ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , cmol(eq)/kg			Подвижные соединения, мг/100 г Mobile forms, mg/100 g		
			H ⁺	Ca ²⁺ +	Mg ²⁺ 2+	N	P	K
Черноземы под залежью, n = 10 Chernozems under fallow, n = 10								
0-20	8,1 \pm 0,51a	7,1 \pm 0,72a	0,7 \pm 0,09a	46,5 \pm 1,21a	7,7 \pm 0,71a	28,7 \pm 1,04a	9,8 \pm 0,98a	8,4 \pm 0,47a
20-40	6,4 \pm 0,27a	7,4 \pm 0,64a	0,1 \pm 0,08a	45,4 \pm 1,14a	7,1 \pm 0,62a	26,0 \pm 0,98a	8,6 \pm 0,74a	8,2 \pm 0,40a
40-60	4,1 \pm 0,34a	7,6 \pm 0,51a	-	41,2 \pm 1,07a	6,9 \pm 0,59a	20,1 \pm 0,97a	7,7 \pm 0,61a	7,8 \pm 0,31a
60-80	2,1 \pm 0,24a	7,9 \pm 0,43a	-	40,0 \pm 1,05a	6,9 \pm 0,52a	15,2 \pm 1,00a	6,9 \pm 0,48a	6,7 \pm 0,19a
80-100	1,5 \pm 0,21a	8,2 \pm 0,41a	-	38,7 \pm 1,11a	6,6 \pm 0,51a	11,3 \pm 0,95a	5,1 \pm 0,35ab	6,5 \pm 0,22a
100-120	0,8 \pm 0,17a	8,5 \pm 0,31a	-	35,4 \pm 1,01a	6,5 \pm 0,38a	9,2 \pm 0,51a	5,1 \pm 0,32a	5,1 \pm 0,12ab
Черноземы под лесополосой, n = 20 Chernozems under shelterbelt, n = 20								
0-20	7,7 \pm 0,47a	6,9 \pm 0,61b	1,0 \pm 0,09b	45,9 \pm 1,18a	7,5 \pm 0,69a	25,7 \pm 1,02b	8,8 \pm 0,71ab	8,1 \pm 0,34a

20-40	6,2±0,39a	7,2±0,57b	0,8±0,07b	43,4±1,05b	7,0±0,63a	21,4±0,94a	8,1±0,62a	8,1±0,29a
40-60	4,2±0,33a	7,4±0,43b	0,1±0,03	40,6±0,98a	6,8±0,57a	20,3±0,93a	7,9±0,59a	7,6±0,25a
60-80	2,3±0,28a	7,7±0,41b	-	39,9±0,99a	6,7±0,55a	18,7±1,01b	7,4±0,55a	7,5±0,19a
80-100	1,6±0,25a	8,0±0,32b	-	38,6±1,06a	6,5±0,41a	13,1±1,00a	6,8±0,43b	7,0±0,14a
100-120	0,7±0,12ab	8,3±0,17b	-	35,7±1,10a	6,4±0,37a	7,6±0,44b	6,1±0,38a	7,0±0,11a
Черноземы под пашней, $n = 5$ Chernozems under arable land, $n = 5$								
0-20	6,2±0,38b	7,3±0,41c	0,4±0,05c	42,0±1,21b	7,6±0,62a	18,2±1,00c	7,0±0,69b	5,7±0,37b
20-40	4,5±0,33b	7,4±0,36a	0,1±0,03a	40,9±1,17c	7,2±0,54a	14,3±0,97a	6,1±0,54b	5,4±0,33b
40-60	2,4±0,46b	7,7±0,32a	-	39,5±1,06a	6,9±0,51a	11,0±0,95b	5,8±0,37b	5,2±0,26b
60-80	1,8±0,18b	7,9±0,17a	-	38,8±1,09a	6,8±0,46a	10,6±0,93c	4,2±0,25b	4,7±0,23b
80-100	1,1±0,11b	8,2±0,21a	-	37,6±1,01a	6,5±0,38a	9,3±0,41b	4,1±0,15a	4,4±0,17b
100-120	0,6±0,10b	8,5±0,14a	-	35,5±0,97a	6,4±0,31a	5,1±0,34c	3,9±0,09b	4,1±0,11b

Примечание: a, b, c – статистически значимые различия ($p < 0,05$) между средними значениями по глубине в чернозёмах под разными угодьями согласно U -тесту Манна-Уитни (одинаковые буквы означают отсутствие достоверных различий, разные – различия достоверны на заданном уровне значимости).

Note: a, b, c – statistically significant differences ($p < 0.05$) between the mean values for each depth of chernozems under the different land use by Mann-Whitney U -test (the same letters indicate the absence of significant differences, the different letters – the differences are statistically significant).

Источник: собственные вычисления авторов

Source: authors' own calculations

В нижней части профиля гидролитическая кислотность исчезает полностью, поскольку данная величина является рН-зависимой, а почвы образованы на карбонатных почвообразующих породах, имеющих щелочную реакцию среды. Обменный катион кальция накапливается в почвенно-поглощающем комплексе верхних горизонтов. Данный катион имеет большое сродство к коллоидным фракциям, имеющим органоминеральную природу. Вследствие чего отмечается довольно высокая корреляционная зависимость ($r = 0,98$) между профильным распределением органического вещества и обменного катиона Ca^{2+} . Обменный Mg^{2+} более равномерно распределен по почвенному профилю, в основном на его содержание и распределение большей мере оказывают влияние почвообразующие породы.

Согласно общепринятой градации почв [21], исследуемые чернозёмы хорошо обеспечены основными элементами минерального питания – N, P, K (табл. 1). Наибольшее их количество отмечается в верхних горизонтах, поскольку запас данных элементов сильно зависит от процентного содержания гумуса. В черноземах пашни определено статисти-

чески значимое снижение ($p < 0,05$) содержания подвижных форм азота, фосфора и калия, за счет их интенсивного потребления сельскохозяйственными культурами. Что касается профильного распределения данных элементов, то все исследуемые чернозёмы характеризуются постепенным снижением их валовых количеств аналогично содержанию гумуса.

С точки зрения экологического состояния почвенного покрова, важно иметь представление о валовом содержании и подвижных соединениях тяжелых металлов, среди большого перечня которых свинец и кадмий являются приоритетными загрязнителями. Несомненно, что вдали от основных источников загрязнения их содержание не будет превышать предельно-допустимые концентрации. Кроме того, чернозёмы обладают высокой буферной способностью и переводят большинство загрязнителей в недоступное для растений состояние. В наших исследованиях важным является определение степени их подвижности, а соответственно доступности растительным организмам. Поскольку при увеличении антропогенной нагрузки

ки будет происходить и усиление поступления элементов в круговорот.

Согласно полученным данным, а также исследованиям, проводимым ранее [26], повышенной способностью сорбировать тяжелые металлы обладает органическое вещество черноземов, при этом прослеживается статистически значимая тесная

корреляционная зависимость ($r > 0,9$). Данное явление подтверждается модельным экспериментом, результаты которого представлены на рисунке 3.

Так, несмотря на довольно высокую степень подвижности кадмия, которая достигает 21%, отмечается высокая сорбционная способность органического вещества к металлу (рис. 3, Б).

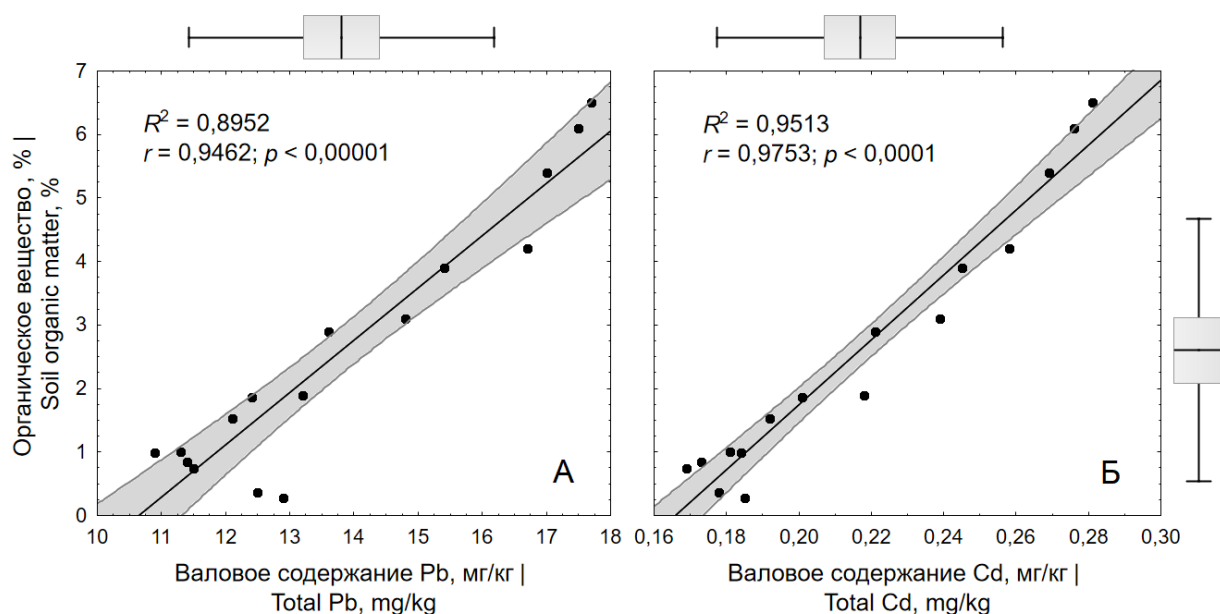


Рисунок 3. Зависимость валового содержания свинца (А) и кадмия (Б) от содержания органического вещества в черноземах обыкновенных ($n = 16$). Серым цветом на графиках обозначен 95 %-й доверительный интервал.

Боксплот: средняя линия – среднее значение, ящик – стандартная ошибка, усы – стандартное отклонение.

Источник: собственные вычисления авторов

Figure 3. Dependence of total lead (A) and cadmium (B) content from organic matter content in Vorony-Calcic Chernozems ($n = 16$). Grey colour on the graphs indicates 95%-confidence interval. Boxplot: midline – mean value, box – standard error, whiskers – standard deviation.

Source: authors' own calculations

Коэффициент подвижности свинца не превышает 10%, но, согласно модельному эксперименту, сорбционная способность гумуса к элементу несколько ниже, чем у кадмия (рис. 3, А). На иммобилизацию свинца большее влияние оказывает реакция среды, что подтверждается экспериментальными данными.

Очевидно, что валовое содержание и обменные формы соединений исследуемых тяжелых металлов не превышают предельно допустимые концентрации (ПДК), несмотря на это важным является довольно высокая степень подвижности кадмия. Даже несмотря на сорбцию элемента органическим веществом и карбонатами почвенного раствора,

довольно высокий процент металла содержится в легкодоступной форме.

Заключение

Исследуемые черноземы обыкновенные в верхних горизонтах имеют довольно высокое процентное содержание гумуса, которое постепенно снижается с глубиной почвенного профиля. Реакция среды в верхних горизонтах – нейтральная, вниз по профилю она постепенно возрастает, и становится щелочной, за счет влияния карбонатов почвообразующих пород. Почвенно-поглощающий комплекс насыщен катионами кальция и магния, обменный водород зафиксирован преимущественно

в верхних горизонтах черноземов под лесополосой. Данное явление связано с тем, что лесополосы выполняют влагоудерживающую функцию. Повышенное содержание влаги совместно с корневыми выделениями древесных пород приводит к усилению гидролиза, что в свою очередь ускоряет вытеснение катионов кальция из почвенно-поглощающего комплекса. Вытесненный кальций активно поглощается древесной растительностью в качестве элемента минерального питания, а его место занимает обменный водород.

Агрохимические показатели (азот, фосфор и калий) исследуемых черноземов имеют также высокие показатели, особенно в черноземах под зале-

жью и лесополосой. Эти показатели имеют достаточно высокую вариабельность (от 5,1 до 28,7 мг на 100 г почвы), поскольку легко доступны для поглощения растительным организмам.

Валовое содержание и обменные формы соединений свинца и кадмия не превышают ПДК, принятых для почв черноземного ряда. Полученные данные можно использовать в качестве фоновых показателей при разнообразных мониторинговых исследованиях, в том числе для организации стационарных наблюдений за динамикой пулов углерода и потоков парниковых газов в репрезентативных для лесостепной зоны агроландшафтах Каменной степи.

Список литературы

1. Абакумов Е.В., Поляков В.И., Чуков С.Н. Подходы и методы изучения органического вещества почв карбоновых полигонов России (обзор). Почвоведение. 2022;7:773–786. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48621435>.
2. Zhidkin A., Fomicheva D., Yurova A., Ivanova N., Dostál T., Krása J., Komissarov M. A detailed reconstruction of changes in the factors and parameters of soil erosion over the past 250 years in the forest zone of European Russia (Moscow region). International Soil and Water Conservation Research. 2022;1(10):149-160. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.06.003>.
3. Frolov P., Shanin V., Zubkova E., Bykhovets S., Grabarnik P. CAMPUS-S – The model of ground layer vegetation populations in forest ecosystems and their contribution to the dynamics of carbon and nitrogen. I. Problem formulation and description of the model. Ecological Modelling. 2020;431: 109184. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109184>.
4. Kramareva T.N., Tikhonova E.N., Gromovik A.I., Gorbunova N.S., Korolev V.A. Influence of various tree species on the properties of soils in the "Kamennaya steppe": IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Forestry Forum "Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions"". 2021:12020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/875/1/012020>.
5. Чендев Ю. Г., Геннадиев А. Н., Лукин С. В., Соэр Т. Д., Заздравных Е. А., Белеванцев В. Г., Смирнова М. А. Изменение лесостепных черноземов под влиянием лесополос на юге Среднерусской возвышенности. Почвоведение. 2020;8:934–947. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42994976>.
6. Wu Y., Wang Q., Wang H., Wang W., Han S. Shelterbelt Poplar Forests Induced Soil Changes in Deep Soil Profiles and Climates Contributed Their Inter-site Variations in Dryland Regions, Northeastern China. Frontiers in Plant Science. 2019;10. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2019.00220>.
7. Wu Y., Wang W., Wang Q., Zhong Z., Wang H., Yang Y. Farmland Shelterbelt Changes in Soil Properties: Soil Depth-Location Dependency and General Pattern in Songnen Plain, Northeastern China. Forests. 2023;14(3):584 <http://dx.doi.org/10.3390/f14030584>.
8. Чухлебова В.В., Шешнищан С.С. К вопросу об изучении эмиссии парниковых газов из почвы под лесными поделзащитными насаждениями в Каменной Степи. Актуальные вопросы развития идей В.В. Докучаева в XXI веке. Развитие аграрной науки на современном этапе: Материалы Международной научно-практической конференции и Всероссийской школы молодых ученых и специалистов, посвященных 130-летию организации "Особой экспедиции Лесного департамента по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях южной России". В 2-х частях, Каменная Степь, 14–16 июня 2022 года.

Том Часть 1. Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство Ритм", 2022. С. 74-77. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49712609>.

9. Чевердин Ю.И., Беспалов В.А., Сауткина М.Ю., Титова Т.В. Эколого-агрохимическая оценка почв Каменной степи под лесным ценозом. Известия вузов. Лесной журнал. 2021;5:76-91. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46809493>.

10. Kramareva T.N., Gorbunova N.S., Tikhonova E.N., Gromovik A.I., Kulikova E.V. Features of the migration of heavy metals in the forest landscapes of the Kamennaya steppe: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Forestry Forum "Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions"". 2021:12021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/875/1/012021...>

11. Mingareeva E., Aparin B., Sukhacheva E., Sanzharova N., Lazareva M., Terleev V., Akimov L. Content of radionuclides in soils of the Voronezh region. Technological Advancements in Construction. 2022;180:1-12. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83917-8_1.

12. Кирюшин В.И. Экологические функции ландшафта. Почвоведение. 2018;1:17–25. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32312331>.

13. Olson K.R., Gennadiev A.N. Dynamics of soil organic carbon storage and erosion due to land use change (Illinois, USA). Eurasian Soil Science. 2020;4(53):436-445. <https://doi.org/10.1134/S1064229320040122>.

14. Сауткина М.Ю., Чевердин Ю.И. Микробиологическая оценка состояния почвенного покрова агролесомелиоративных ландшафтов Каменной Степи. Известия вузов. Лесной журнал. 2019;6:62–78. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41479910>.

15. Сушко С.В., Ананьева Н.Д., Иващенко К.В., Кудеяров В.Н. Эмиссия CO₂, микробная биомасса и базальное дыхание чернозема при различном землепользовании. Почвоведение. 2019;9:1081–1091. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39149002>.

16. Кудеяров В.Н. Дыхание почв и биогенный сток углекислого газа на территории России (аналитический обзор). Почвоведение. 2018;6:643–658. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35102037>.

17. Кутовая О.В., Гребенников А.М., Тхакахова А.К., Исаев В.А., Гармашов В.М., Беспалов В.А., Чевердин Ю.И., Белобров В.П. Изменение почвенно-биологических процессов и структуры микробного сообщества агрочерноземов при разных способах обработки почвы. Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2018;92:35-61. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35011654>.

18. Хитров Н.Б., Хайдапова Д.Д. Вязкоупругое поведение вертикального солонца Каменной степи // Почвоведение. 2019;7:843–858. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38237125>.

19. Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И., Роговнева Л.В. Двумерное распределение свойств вертикального солонца смикрорельефом гильгай в Каменной степи. Почвоведение. 2018;11:1285–1298. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36416462>.

20. Khitrov N., Smirnova M., Lozbenev N., Levchenko E., Gribov V., Kozlov D., Rukhovich D., Kalinina N., Koroleva P. Soil cover patterns in the forest-steppe and steppe zones of the east European plain. Soil science annual. 2019;3(70):198-210. <https://doi.org/10.2478/ssa-2019-0018>.

21. Щеглов Д. И., Громовик А. И, Горбунова Н. С. Основы химического анализа почв. 2019:332. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42440294>.

22. Плеханова И. О., Золотарева О. А. Экологическое нормирование состояния почв, загрязненных тяжелыми металлами. Агрохимия. 2020;10:79-88. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43961939>.

23. Chernova O. V., Bezuglova O. S. Use of background concentrations of heavy metals for regional monitoring of soil contamination by the example of Rostov oblast. Eurasian Soil Sci. 2019;52(8):1007. <https://doi.org/10.1134/S1064229319080040>.

24. Minkina T. M., Mandzhieva S. S., Burachevskaya M. V., Bauer T. V., Sushkova S. N. Method of determining loosely bound compounds of heavy metals in the soil. *MethodsX*. 2018; 5:217-226. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.02.007>.

25. Vodyanitskii Y., Minkina T., Bauer T. Method for calculation the selectivity of reagents extracting heavy metals mobile compounds from soil. *Applied Geochemistry*. 2020;116:104570. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104570>.

26. Mitra S., Chakraborty A. J., Tareq A. M., Emran T. B., Nainu E., Khusro A., Abubakr M. I., Khandaker M. U., Osman H., Alhumaydhi F. A., Simal-Gandara J. Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity *Journal of King Saud University. Science*. 2022:101865. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865>.

References

1. Abakumov E.V., Poljakov V.I., Chukov S.N. Podhody i metody izuchenija organicheskogo veshhestva pochv karbonovyh poligonov Rossii (obzor). *Pochvovedenie*. 2022;7:773–786. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48621435>.

2. Zhidkin A., Fomicheva D., Yurova A., Ivanova N., Dostál T., Krása J., Komissarov M. A detailed reconstruction of changes in the factors and parameters of soil erosion over the past 250 years in the forest zone of European Russia (Moscow region). *International Soil and Water Conservation Research*. 2022;1(10):149-160. URL DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.06.003>

3. Frolov P., Shanin V., Zubkova E., Bykhovets S., Grabarnik P. CAMPUS-S – The model of ground layer vegetation populations in forest ecosystems and their contribution to the dynamics of carbon and nitrogen. I. Problem formulation and description of the model. *Ecological Modelling*. 2020;431: 109184. URL DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109184>.

4. Kramareva T.N., Tikhonova E.N., Gromovik A.I., Gorbunova N.S., Korolev V.A. Influence of various tree species on the properties of soils in the "Kamennaya steppe": IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Forestry Forum "Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions"". 2021:12020. URL DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/875/1/012020>.

5. Chendev Yu. G., Gennadiev A. N., Lukin S. V., Soer T. D., Zazdravnykh E. A., Belevantsev V. G., Smirnova M. A. Izmenenie lesostepnykh chernozemov pod vliyaniem lesopolos na yuge Srednerusskoy vozvyshehnosti. *Pochvovedenie*. 2020;8:934–947. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42994976>.

6. Wu Y., Wang Q., Wang H., Wang W., Han S. Shelterbelt Poplar Forests Induced Soil Changes in Deep Soil Profiles and Climates Contributed Their Inter-site Variations in Dryland Regions, Northeastern China. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10. URL DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2019.00220>.

7. Wu Y., Wang W., Wang Q., Zhong Z., Wang H., Yang Y. Farmland Shelterbelt Changes in Soil Properties: Soil Depth-Location Dependency and General Pattern in Songnen Plain, Northeastern China. *Forests*. 2023;14(3):584 URL DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/f14030584>.

8. Chukhlebova V.V., Sheshnitsan S.S. K voprosu ob izuchenii emissii parnikovyykh gazov iz pochvy pod lesnymi polezashchitnymi nasazhdeniyami v Kamennoy Stepi. Aktual'nye voprosy razvitiya idey V.V. Dokuchaeva v XXI veke. Razvitie agrarnoy nauki na sovremennom etape: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii i Vserossiyskoy shkoly molodykh uchenykh i spetsialistov, posvyashchennykh 130-letiyu organizatsii "Osoboy ekspeditsii Lesnogo departamenta po ispytaniyu i uchetu razlichnykh sposobov i priemov lesnogo i vodnogo khozyaystva v stepyakh yuzhnoy Rossii". V 2-kh chastyakh, Kamennaya Step', 14–16 iyunya 2022 goda. Tom Chast' 1. Moskva: Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu "Izdatel'stvo Ritm", 2022. S. 74-77. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49712609>.

9. Cheverdin Ju.I., Bepalov V.A., Sautkina M.Ju., Titova T.V. Jekologo-agrohimicheskaja ocenka pochv Kamennoj stepi pod lesnym cenozom. *Izvestija vuzov. Lesnoj zhurnal.* 2021;5:76-91. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46809493>.
10. Kramareva T.N., Gorbunova N.S., Tikhonova E.N., Gromovik A.I., Kulikova E.V. Features of the migration of heavy metals in the forest landscapes of the Kamennaya steppe: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "International Forestry Forum "Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions"". 2021:12021. URL DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/875/1/012021>.
11. Mingareeva E., Aparin B., Sukhacheva E., Sanzharova N., Lazareva M., Terleev V., Akimov L. Content of radionuclides in soils of the Voronezh region. *Technological Advancements in Construction.* 2022;180:1-12. URL: DOI: [10.1007/978-3-030-83917-8_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-83917-8_1).
12. Kirjushin V.I. Jekologicheskie funkicii landshafta. *Pochvovedenie.* 2018;1:17–25. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32312331>.
13. Olson K.R., Gennadiev A.N. Dynamics of soil organic carbon storage and erosion due to land use change (Illinois, USA). *Eurasian Soil Science.* 2020;4(53):436-445. URL: DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229320040122>.
14. Sautkina M.Ju., Cheverdin Ju.I. Mikrobiologicheskaja ocenka sostojanija pochvennogo pokrova agrosomeliorativnyh landshaftov Kamennoj Step. *Lesnoj zhurnal.* 2019;6:62–78. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41479910>.
15. Sushko S.V., Anan'eva N.D., Ivashhenko K.V., Kudejarov V.N. Jemissija SO₂, mikrobnaja biomassa i bazal'noe dyhanie chernozema pri razlichnom zemlepol'zovanii. *Pochvovedenie.* 2019;9:1081–1091. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39149002>.
16. Kudejarov V.N. Dyhanie pochv i biogenyj stok uglekislogo gaza na territorii Rossii (analiticheskij obzor). *Pochvovedenie.* 2018;6:643–658. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35102037>.
17. Kutovaja O.V., Grebennikov A.M., Thakahova A.K., Isaev V.A., Garmashov V.M., Bepalov V.A., Cheverdin Ju.I., Belobrov V.P. Izmenenie pochvenno-biologicheskikh processov i struktury mikrobnogo soobshhestva agrochernozemov pri raznyh sposobah obrabotki pochvy. *Bjulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva.* 2018;92:35-61. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35011654>.
18. Hitrov N.B., Hajdapova D.D. Vjazkouprugoe povedenie vertikovogo solonca Kamennoj stepi // *Pochvovedenie.* 2019;7:843–858. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38237125>.
19. Hitrov N.B., Cheverdin Ju.I., Rogovneva L.V. Dvumernoe raspredelenie svojstv vertikovogo solonca smikrorel'efom gil'gaj v Kamennoj stepi. *Pochvovedenie.* 2018;11:1285–1298. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36416462>.
20. Khitrov N., Smirnova M., Lozbenov N., Levchenko E., Gribov V., Kozlov D., Rukhovich D., Kalinina N., Koroleva P. Soil cover patterns in the forest-steppe and steppe zones of the east European plain. *Soil science annual.* 2019;3(70):198-210. URL: DOI: <https://doi.org/10.2478/ssa-2019-0018>.
21. Scheglov D. I., Gromovik A. I., Gorbunova N. S. Osnovy himicheskogo analiza pochv. 2019:332. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42440294>.
22. Plehanova I. O., Zolotareva O. A. Jekologicheskoe normirovanie sostojanija pochv, zagryzannyh tjazhelymi metallami. *Agrohimija.* 2020;10:79-88. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43961939>.
23. Chernova O. V., Bezuglova O. S. Use of background concentrations of heavy metals for regional monitoring of soil contamination by the example of Rostov oblast. *Eurasian Soil Sci.* 2019;52(8):1007. URL: DOI: [10.1134/S1064229319080040](https://doi.org/10.1134/S1064229319080040).
24. Minkina T. M., Mandzhieva S. S., Burachevskaya M. V., Bauer T. V., Sushkova S. N. Method of determining loosely bound compounds of heavy metals in the soil. *MethodsX.* 2018; 5:217-226. URL: DOI: [10.1016/j.mex.2018.02.007](https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.02.007).

25. Vodyanitskii Y., Minkina T., Bauer T. Method for calculation the selectivity of reagents extracting heavy metals mobile compounds from soil. *Applied Geochemistry*. 2020;116:104570. URL: DOI: 10.1016/j.apgeochem.2020.104570.

26. Mitra S., Chakraborty A. J., Tareq A. M., Emran T. B., Nainu E., Khusro A., Abubakr M. I., Khandaker M. U., Osman H., Alhumaydhi F. A., Simal-Gandara J. Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity *Journal of King Saud University – Science*. 2022:101865. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865>.

Сведения об авторах

✉ *Тихонова Елена Николаевна* – кандидат биол. наук, зав. кафедрой ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9039-9822>, e-mail: tichonova-9@mail.ru

Горбунова Надежда Сергеевна – кандидат биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Университетская пл., 1, г. Воронеж, Российская Федерация, 394018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7986-8106>, e-mail: vilian@list.ru

Шешнищан Сергей Сергеевич – кандидат биол. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8027-855X>, e-mail: sheshnitsan@gmail.com.

Одноралов Геннадий Алексеевич – кандидат биол. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7154-6807>, e-mail: kafedra.laip@inbox.ru

Information about the authors

✉ *Elena N. Tikhonova* – Cand. Sci (Biol.), assistant professor, Head of Department of Landscape Architecture and Soil Science, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9039-9822>, e-mail: tichonova-9@mail.ru

Nadezhda S. Gorbunova – Cand. Sci (Biol.), assistant professor, Voronezh State University, Universitetskaya square, 1, Voronezh city, Russian Federation, 394018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7986-8106>, e-mail: vilian@list.ru

✉ *Sergey S. Sheshnitsan* – Cand. Sci. (Biol.), assistant professor of Department of Landscape Architecture and Soil Science, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8027-855X>, e-mail: sheshnitsan@gmail.com.

Gennadiy A. Odnorolov – Cand. Sci. (Biol.), assistant professor of Department of Landscape Architecture and Soil Science, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7154-6807>, e-mail: kafedra.laip@inbox.ru.

✉ – Для контактов | Corresponding author