

Научная статья

УДК 631.48

doi: 10.17223/19988591/71/2

Локальное разнообразие непаханных черноземов лесостепи Среднерусской возвышенности (Европейская Россия)

**Мария Андреевна Смирнова¹, Юрий Георгиевич Чендев²,
Анастасия Григорьевна Нарожняя³**

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

^{2, 3} *Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Белгород, Россия*

¹ <https://orcid.org/0000-0002-5256-4348>, summerija@yandex.ru

² <https://orcid.org/0000-0001-7864-041X>, sciences@mail.ru

³ <https://orcid.org/0000-0002-4271-1607>, narozhnyaya_A@bsu.edu.ru

Аннотация. Участки с нативными, никогда не распаханymi черноземами являются большой редкостью на Среднерусской возвышенности, и именно поэтому изучение, инвентаризация, картографирование и оценка почвенного разнообразия таких участков имеют большое значение для решения географо-генетических и практических задач. В работе приводятся результаты детального обследования почв участка размером 50 × 50 м² (36 скважин и 6 почвенных разрезов), функционировавшего в режиме сенокоса/выгона по крайней мере последние 240 лет. Составлены 4 почвенные карты для разных таксономических уровней: типов, подтипов, видов, разрядов; на картах подсчитано число ареалов, рассчитаны индексы богатства, Шеннона, Симпсона, Рао, таксономического расстояния между почвами. Показано, что на общем фоне черноземов миграционно-мицелярных мощных глубоко- и среднекарбонатных встречаются ареалы черноземов глинисто-иллювиальных миграционно-мицелярных и мицелярных квазиглееватых мощных глубококарбонатных; черноземов миграционно-мицелярных сверхмощных глубоко- и среднекарбонатных; черноземов мицелярных сверхмощных и мощных средне- и глубококарбонатных. Почвенный покров участка слабо контрастный, что подтверждается расчетами таксономических расстояний, и характеризуется низким разнообразием. Значения индексов Шеннона, Симпсона и число ареалов двукратно увеличиваются при уменьшении уровня картографируемых единиц от типов к подтипам и от подтипов к видам, индекса Рао – при переходе от уровня подтипа к виду; вероятно, уровень вида является наиболее оптимальным для проведения оценок разнообразия нативных почв лесостепи.

Ключевые слова: педоразнообразие, структура почвенного покрова, картографирование почв, охрана почв, Белгородская область

Источник финансирования: работа выполнена при поддержке РФФ, проект № 24-17-00154 «География, свойства и эталонные функции нативных черноземов лесостепи юга Среднерусской возвышенности».

Для цитирования: Смирнова М.А., Чендев Ю.Г., Нарожняя А.Г. Локальное разнообразие непаханных черноземов лесостепи Среднерусской возвышенности (Европейская Россия) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2025. № 71. С. 32–57. doi: 10.17223/19988591/71/2

Original article

doi: 10.17223/19988591/71/2

Local diversity of untilled chernozem soils in the forest-steppe of the Central Russian Upland (European Russia)

Maria A. Smirnova¹, Yuri G. Chendev², Anastasia G. Narozhnaya³

¹ *M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

^{2, 3} *Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University,
Belgorod, Russian Federation*

¹ <https://orcid.org/0000-0002-5256-4348>, summerija@yandex.ru

² <https://orcid.org/0000-0001-7864-041X>, sciences@mail.ru

³ <https://orcid.org/0000-0002-4271-1607>, narozhnyaya_A@bsu.edu.ru

Summary. Native, never-plowed Chernozem areas are practically non-existent in the forest-steppe zone of the Eastern European Plain. Therefore, the study, inventory, mapping, and assessment of soil diversity in these areas are essential for addressing geographic, genetic, and practical issues. This paper presents the results of a comprehensive soil survey carried out at the "Korovino" site, which has been under a mowing/grazing regime for at least 240 years (*See Fig. 1*). A topographic survey was also conducted, and soil drilling to a depth of two meters was performed at 36 locations along a regular grid (*See Fig. 2*). Six profiles were established for detailed soil analysis for identified areas of Haplic and Luvic Chernozem. The vegetation cover of the area is shown (*See Fig. 3*). The assessment of taxonomic distances, as a measure of contrast between soils, is based on a matrix of soil properties (*See Table 1*), where the rows correspond to classification-relevant characteristics and the columns represent the soils studied. Each cell indicates the presence (ranging from 0.1 to 1) or absence (0) of a property within the soil, with the weight of each property assigned according to a hierarchical classification system. The taxonomic distance is defined as the Euclidean distance between the column vectors of the matrix. We produce four soil maps, each using different classification units - types, subtypes, species and phases - as mapping units. For each of the maps, we calculate the number of ranges and the indices of richness, Shannon, Simpson, and Rao. Statistical calculations have been performed to evaluate the variability of the chernic horizon, humus profile (chernic + mollic horizons), and effervescence line in the soils of the study area.

The soils in this area are mainly represented by Haplic and Luvic Chernozems (*See Fig. 4*), with well-developed granular and cloddy-granular structures in the AU horizon, and also root beads, coprolites, and various forms of carbonate neoformations. Iron-manganese neoformations have been identified in the BCAq/Cca,q and Cca,q horizons of eight soil samples with texture heterogeneity. A significant feature of these soils is the high degree of material disturbance, manifested in the presence of coprolites and krotovinas up to 20 cm in size, both direct and reverse. The coefficients of intra-profile variation, variation within areas, and variation across the entire site for the thickness of the chernic horizon, humus profile (chernic + mollic horizons), and effervescence line are closely aligned, not exceeding 20% (*See Table 2*). However, the difference between the extremes within the site can reach up to 30 cm for the chernic horizon, 60 cm for chernic + mollic horizons, and 70 cm for effervescence line. The investigated soils show a left-sided asymmetry in the distribution of the thickness of the chernic+ mollic horizon and a left-sided asymmetry in the distribution of BCA horizon thickness (horizon with secondary carbonates; *See Fig. 5*),

indicating a prevailing trend of decreasing thickness in the humified part of soil profiles and BCA horizons in the investigated soils. With regard to the effervescence line, a right-sided asymmetry in this characteristic was observed, indicating a trend towards carbonate leaching.

The main part of the site has a humus profile with a thickness of 100-110 cm and an effervescence line at a depth of 80-90 cm (*see Fig. 6*). The dominant soil types in the study area (*See Fig. 7*) are Haplic Chernozem (Siltic, Hyperhymic, Pachic) with 80-120 cm thick chernic + mollic horizons and an effervescence line deeper than 50 cm at approximately half of the site area. At approximately one-quarter of the site area, there are also areas of Luvic Chernozem (Siltic, Hyperhymic, Pachic, Bathyglyeyic), Luvic Chernozem (Siltic, Hyperhymic, Pachic, Bathyglyeyic) with chernic + mollic horizon thickness of 80-120 cm and effervescence line deeper than 80 cm, Haplic Chernozem (Siltic, Hyperhymic, Pachic) with chernic + mollic horizon thickness of more than 120 cm and effervescence line deeper than 50 cm, and Haplic Chernozem (Siltic, Hyperhymic, Pachic, Bathyglyeyic) with chernic + mollic horizon thickness of 80-120 cm and effervescence line deeper than 50 cm (*See Figs. 6, 7*). The soil cover in the area has a low contrast, as shown by the calculations of taxonomic distances. The average value is 0.7 out of the possible 2.98. In general, soils of low contrast are found next to each other within the site, while soils of high contrast are found at opposite ends of the site. The Shannon and Simpson diversity indices and the number of polygons on the map double when the classification level of the mapped units decreases from types to subtypes and then to species (*See Table 3*). The values of Rao's quadratic entropy index, which takes into account not only the number of areas and their proportion of the total area (as Shannon and Simpson indices) but also the contrast between soils, increase as the level of classification of mapped units decreases. A sharp twofold increase is observed when transitioning from the subtype level to the species level, suggesting that the species level may be the most suitable for evaluating quantitative diversity in native soils in the forest-steppe region.

The article contains 7 Figures, 3 Tables, 30 References.

Keywords: pedodiversity, soil cover pattern, soil mapping, soil security, Belgorod oblast

Fundings: this work was supported by the Russian Science Foundation (Project No. 24-17-00154, "Geography, properties, and benchmark functions of native chernozems in the southern forest-steppe of the Central Russian Upland").

For citation: Smirnova MA, Chendev YuG, Narozhnaya AG. Local diversity of untilled chernozem soils in the forest-steppe of the Central Russian Upland (European Russia). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2025;71:32-57. doi: 10.17223/19988591/71/2

Введение

Почвенный покров староосвоенных регионов характеризуется высокой степенью антропогенной трансформации, вызванной как былой, так и современной распашкой [1, 2]. Участки непаханных (нативных) черноземов практически не сохранились в пределах лесостепи Восточно-Европейской равнины [3, 4] как в силу старой освоенности региона, так и высокого плодородия этих почв [5]. По современным оценкам, общая площадь непахотных черноземов в пределах лесостепи Среднерусской возвышенности не превышает 60 км², из которых 88% приходится на территорию Централь-

но-Черноземного заповедника им. В.В. Алехина и около 8% – на участок «Ямская Степь» заповедника «Белогорье» [6, 7].

Абсолютное большинство исследований нативных черноземов староосвоенной лесостепи выполнены на заповедных территориях: на их основе даны представления о генезисе [8], режимах и свойствах лесостепных черноземов [9–11], структуре почвенного покрова заповедных участков [11–14] и пространственной вариабельности свойств почв [13, 15]. Вместе с тем природные условия Центрально-Черноземного заповедника и Ямской степи не охватывают всего разнообразия сочетаний факторов почвообразования староосвоенной лесостепи Среднерусской возвышенности, что обуславливает необходимость поиска, инвентаризации и изучения почв других, нетронутых участков лесостепи. В условиях практически полной сельскохозяйственной трансформации большой научный интерес к изучению представляют даже небольшие неиспользуемые под пашню территории, которые исторически функционировали в режиме сенокосов и/или выгонов [3, 7]. Характеристика свойств почв, структуры почвенного покрова и количественная оценка почвенного разнообразия таких участков могут выступать в качестве обоснования закрепления за ними особого природоохранного статуса [16, 17]. С практической точки зрения нативные черноземы сенокосов и выгонов могут быть использованы в качестве эталонов сравнения для прилегающих антропогенно-трансформированных черноземов.

Цель настоящей работы – характеристика структуры почвенного покрова и количественная оценка почвенного разнообразия для территории, представленной непахаными (нативными) автоморфными лесостепными черноземами на примере ключевого участка в Белгородской области, используемого в качестве сенокоса и выгона по крайней мере последние 240 лет.

Материалы и методы

Исследования проведены на южной окраине села Коровино Ракитянского района Белгородской области (рис. 1). Участок расположен приблизительно в 110 км к югу от Центрально-Черноземного заповедника им. В.В. Алехина и в 120 км к юго-западу от заповедной Ямской степи (кластер в составе заповедника «Белогорье»). Согласно картам 1783, 1865 и 1981 г. (рис. 1), а также разновременным космическим снимкам, эта территория никогда не распахивалась и использовалась в качестве сенокосных угодий и выгона, на ней отсутствовали дороги или проезды.

Были выполнены геодезическая съемка участка (квадрат со стороной 50 м) и геоботаническое описание. Бурение почв до глубины 2 м проводилось по регулярной сетке с шагом в 10 м в 36 точках (рис. 2). В каждой точке бурения выполнялось описание морфологического строения кернов с характеристикой таких свойств, как мощность почвенных горизонтов, их цвет, влажность, гранулометрический состав, наличие новообразований, их размер и обилие, наличие включений, глубина вскипания и профильное

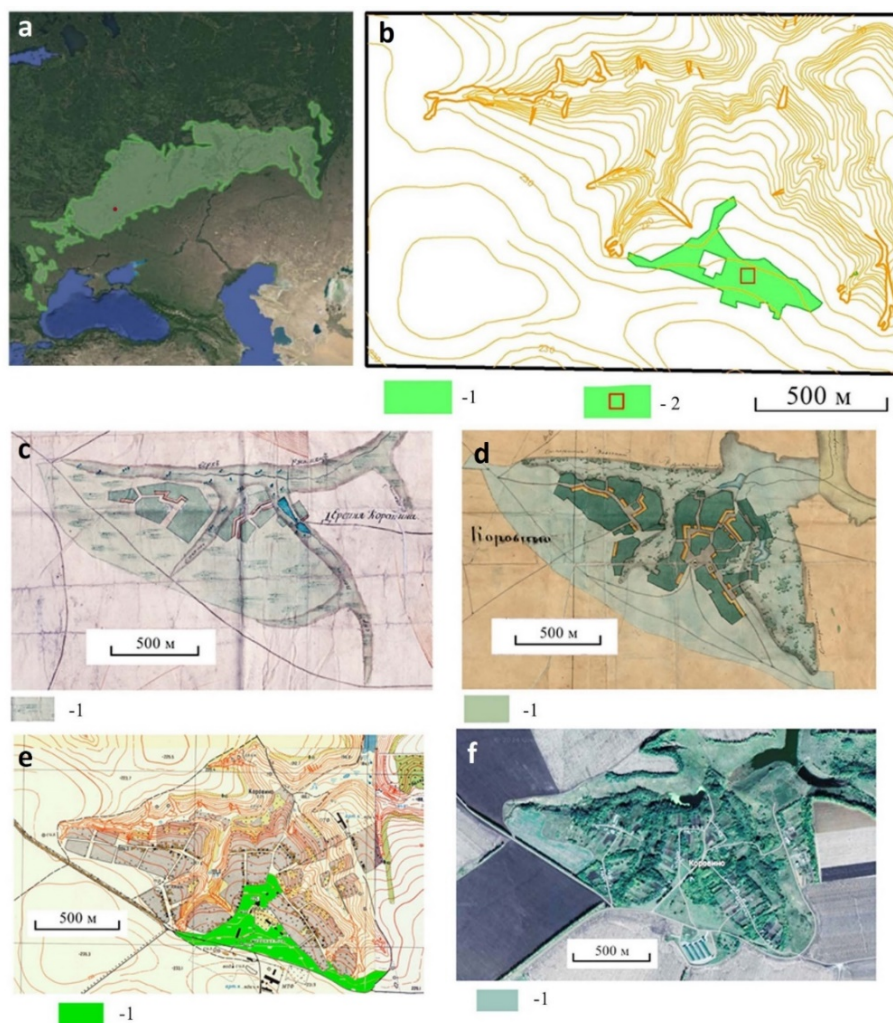


Рис. 1. Расположение участка исследования: *a* – на космическом снимке в пределах лесостепи (границы лесостепи даны по [18]), *b* – план с горизонталями (проведены через 2,5 м) и неизменный с 1783 г. ареал сенокоса/выгона, *c* – фрагмент плана деревни Коровино Богатинского уезда Курского наместничества 1783 г., *d* – фрагмент плана села Коровино Богатинского уезда Курской губернии 1865 г., *e* – фрагмент топографической карты 1981 г. территории села Коровино Ракитянского района Белгородской области, *f* – фрагмент спутникового снимка 2024 г. территории села Коровино Ракитянского района Белгородской области.

1 – положение сенокосов/выгонов, 2 – расположение участка полевого обследования почв

[Fig. 1. Maps and satellite image of the Korovino village: (1) location of meadows/pastures, (2) location of the soil survey area. (a) site on a space image within the forest-steppe (the forest-steppe boundaries are given according to [18]), (b) topographic map (contour lines are drawn every 2,5 m) and permanent since 1783 pasture/hayfield area, (c) fragment of the 1783 plan of the Korovino village in the Bogatinsky district of the Kursk governorate, (d) fragment of the 1865 plan of the Korovino village in the Bogatinsky district of the Kursk province, (e) fragment of the 1981 topographic map of Korovino village in the Rakityansky district of the Belgorod region, (f) fragment of the 2024 satellite image of the area of the Korovino village in the Rakityansky district of the Belgorod region]

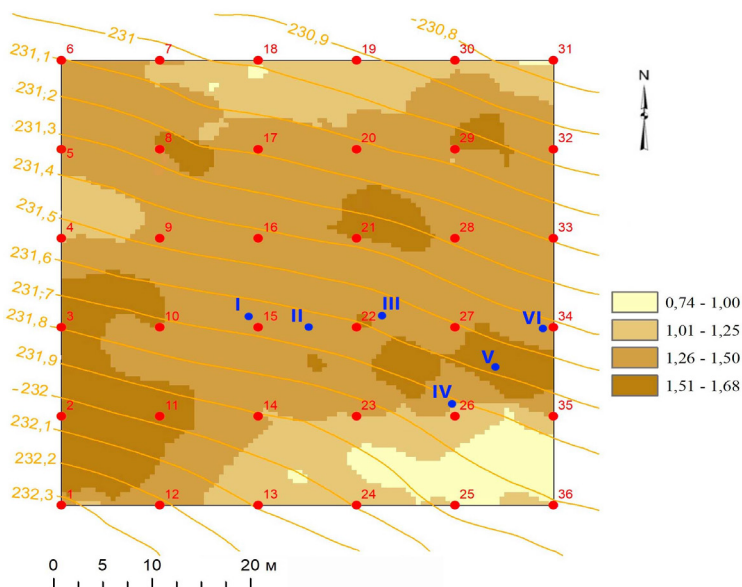


Рис. 2. План участка «Коровино» с указанием горизонталей (сечение 0,1 м) и крутизны склонов в градусах (цвет). Красными пунсонами указаны места бурения, арабскими цифрами указаны номера буровых скважин; синими точками отмечены места заложения почвенных разрезов, латинскими цифрами – номера разрезов (I–III – черноземы, IV–VI – черноземы глинисто-иллювиальные)

[Fig. 2. The topography of the site “Korovino” with isohypses (drawn every 0.1 m) and slope steepness in degrees (color-coded). Red dots with Arabic numerals indicate locations of soil core drilling locations; blue dots with Latin numerals indicating the soil pits locations (I–III - Haplic Chernozems, IV–VI - Luvic Chernozems)]

изменение его интенсивности. Диагностика почв проведена в соответствии с классификацией и диагностикой почв России [19].

На основании данных описания строения почвенных профилей в точках бурения намечались участки исследования почв в разрезах. С учетом выявления на ключевом участке двух типов почв – черноземов глинисто-иллювиальных (соответствуют черноземам, выщелоченным по [20]) и черноземов (соответствуют черноземам, типичным по [20]) – в пределах двух ареалов этих типов почв было заложено по три почвенных разреза с выбором базового разреза для детального полнопрофильного описания почв. Во всех разрезах выполнялся анализ морфометрических признаков почв по результатам измерений мощности генетических горизонтов и глубины вскипания вдоль боковых и передней стенок почвенных разрезов (в каждом разрезе по 10 измерений – по три на боковых стенках и 4 на передней).

На основании анализа геодезического плана участка исследований (см. рис. 2), изучаемая территория представляет собой слабонаклонную к северо-востоку поверхность крутизной от 1° до 1,7° (см. рис. 2). Абсолютные высоты в пределах участка исследований варьируют в пределах 231–232 м. Поэтому данный участок с полным основанием можно отнести к плакору.

Растительный покров в момент изучения почв (начало июня 2024 г.) был представлен лугово-степным разнотравьем (рис. 3) и образован следующими видами: пырей ползучий (*Elytrigia répens*) – sp 1-sp, эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria*) – sp, зеленчук желтый (*Galeobdolon luteum*) – sp, мятлик луговой (*Poa pratensis*) – sp gr, плевел многолетний (*Lolium perenne*) – sp gr, овсяница красная (*Festuca rubra*) – sp gr, костер безостый (*Brōmus inērmis*) – sp gr-sol, герань луговая (*Geranium pratense*) – sp gr, ветреница лютиковая (*Anemonoides ranunculoides*) – sp gr, подорожник ланцетолистный (*Plantago lanceolata*) – sp gr, полынь австрийская (*Artemisia austriaca*) – sp gr, ежа сборная (*Dáctylis glomerata*) – sol, типчак (*Festuca valesiaca*) – sol, смолевка поникшая (*Silēne nūtans*) – sol, полынь горькая (*Artemisia absinthium*) – sol, лютик едкий (*Ranunculus ácris*) – sol, молочай кипарисовый (*Euphōrbia cyparissias*) – sol, подмаренник мягкий (*Gálium mollúgo*) – sol. Согласно полевым исследованиям и расчетам, выполненным на территории заповедных лугово-степных участков, поверхностный сток на задернованных травами склонах (даже на крутых) не приводит к эрозии почвенного мелкозема [21]. Поэтому с полным основанием можно считать, что на изучаемом ключевом участке естественная эрозия почв отсутствовала в прошлом и отсутствует в настоящее время.

Оценка локального разнообразия почв включала расчет параметров вариабельности (средние арифметические и медианные значения, стандартное отклонение, коэффициент вариации) мощностей гумусового горизонта, гумусового профиля и глубины вскипания от 10%-й HCl (отдельно для черноземов и черноземов глинисто-иллювиальных), расчет таксономических расстояний между парами почв (как показателя контрастности почв), расчет индексов богатства, разнообразия Шеннона, Симпсона, квадратной энтропии Рао, подсчет числа почвенных ареалов в пределах участка. Гипотезы о нормальности распределения данных по свойствам почв проверены на основании критериев Шапиро–Уилка и Колмогорова–Смирнова. Оценка значимости различий средних выполнена с использованием критерия Краскела–Уоллиса ($p = 0,05$).



Рис. 3. Общий вид растительности участка «Коровино» до первого сенокоса в 2024 г.

[Fig. 3. The vegetation of the “Korovino” site before the first haymaking in 2024]

Оценка таксономических расстояний как меры контрастности почв по отношению друг к другу проведена по стандартной методике [22]. Для расчета таксономических расстояний была создана матрица свойств почв (табл. 1), где строки соответствовали морфологическим свойствам почв, а столбцы – исследуемым почвам. В качестве морфологических свойств были использованы классификационно-значимые характеристики, определяющие тип, подтип, вид и разряд в классификации и диагностике почв России. В каждой ячейке матрицы было отмечено наличие (от 0,1 до 1) или отсутствие (0) в почве свойства. Вес свойства присваивался в соответствии с иерархической системой классификации:

1) диагностические горизонты ВІ и ВСА (независимо от наличия или отсутствия в них каких-либо других диагностических признаков), вес – 1;

2) диагностические генетические признаки Іс, тс, q (без их привязки к генетическим горизонтам), вес – 0,5;

3) градации видовых признаков по мощности гумусового горизонта (мощные 80–120 см и сверхмощные > 120 см), глубине залегания карбонатов (среднекарбонатные 50–80 см, глубококарбонатные 80–120 см), вес – 0,2;

4) градации разрядных признаков – в качестве почвообразующих пород на участке встречались лессовидные тяжелые суглинки и лессовидные глины, вес – 0,1.

Всего была использована информация по наличию или отсутствию 11-ти свойств, комбинации из которых образуют все исследованные почвы участка. Было принято допущение, что набор введенных в таблицу свойств адекватно описывает почвы ключевого участка. Расчет таксономического расстояния между почвами производился согласно формуле [22]

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^T (x_i - x_j)}, \quad (1)$$

где d_{ij} – таксономическое расстояние между почвами i и j , x_i и x_j – векторы-столбцы матрицы почвенных свойств.

Контрастность почв по отношению друг к другу прямо пропорциональна значениям таксономического расстояния. Максимальное значение таксономического расстояния определяется количеством свойств в матрице и баллами, присваиваемыми за их наличие или отсутствие в почве; в данном случае максимально возможное значение таксономического расстояния равно 2,98.

На основании данных бурения в программе ArcGIS методом ординарного крикинга были составлены карты мощности гумусового профиля и глубины вскипания при реакции с 10% HCl. Почвенные карты были построены традиционным (экспертным) методом. Созданы 4 карты с разными единицами картографирования в соответствии с иерархической системой классификации: карты с отображением на них типов почв, типов и подтипов почв (для краткости далее такая карта будет упоминаться как карта подтипов), типов, подтипов и видов (для краткости далее такая карта будет упоминаться как карта видов), типов, подтипов, видов и разрядов (карта разрядов). Карта видов почв была составлена с привлечением карт

Таблица 1 [Table 1]

Фрагмент матрицы свойств почв, построенной для расчета таксономических расстояний
[Fragment of the soil properties matrix to calculate taxonomic distances]

Свойства [Properties]		Номера точек скважин [Borehole point numbers]									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Типовые [Soil types]	В1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
	ВСА	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Подтиповые [Soil subtypes]	lc	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	mc	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	q	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0
Видовые [Soil species]	По мощности гумусового горизонта [By the thickness of the humus profile (Chernic + Mollic horizon)]	Сверхмощные [Humus profile thickness is more than 120 cm]	0	0	0	0,2	0	0,2		0	0,2
			0,2	0,2	0,2	0	0,2	0		0,2	0
	По глубине залегания карбонатов [By the depth of effervescence line]	Среднекарбонатные [Effervescence line at 50-80 depth]	0	0	0	0,2	0	0		0	0
		Глубококарбонатные [Effervescence line at 80-120 depth]	0,2	0,2	0,2	0	0,2	0,2		0,2	0,2
		На лессовидных тяжелых суглинках [On loess-like heavy loams]	0,1	0	0	0,1	0,1	0	0	0,1	0
Разрядные [Soil phases]	На лессовидных глинах [On loess-like clays]	0	0,1	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0,1

мощности гумусового профиля и глубины вскипания согласно методике, описанной в работе [23]. Оценка почвенного разнообразия проведена для каждой из четырех почвенных карт. Были рассчитаны следующие индексы: индекс богатства (соответствует числу различных классификационных почвенных групп, выделенных на участке); число ареалов на карте, индексы Шеннона (H), Симпсона (G) и квадратной энтропии Рао (Q), рассчитанные согласно формулам [16]

$$H = -\sum_{i=1}^c p_i \ln p_i, \quad (2)$$

$$G = 1 - \sum_{i=1}^c p_i^2, \quad (3)$$

$$Q = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^c d_{ij} p_i p_j, \quad (4)$$

где p_i, p_j – доля площади, занимаемая почвами i и j от всего почвенного покрова участка, c – количество классификационных почвенных групп на ключевом участке, d_{ij} – таксономическое расстояние между почвами i и j .

Чем больше значения приведенных выше индексов, тем выше уровень разнообразия. Индексы разнообразия Шеннона и Симпсона учитывают как количество компонентов, образующих почвенный покров, так и их размеры. Чем больше число компонентов, образующих почвенных покров, и чем ближе по размеру ареалы, тем больше уровень разнообразия [16]. Индекс квадратной энтропии Рао учитывает не только количество компонентов в пределах участка и их доли от всей площади, но и контрастность компонентов по отношению друг к другу [16]; при одинаковом числе компонентов и их долях от площади всего участка, разнообразие будет выше там, где больше степень контрастности.

Результаты исследования и обсуждение

Почвы участка. По данным морфологического описания признаков почв в буровых ядрах на изучаемом участке выявлены два типа почв: черноземы (31 точка из 36, фотография типичного профиля представлена на рис. 4а) и черноземы глинисто-иллювиальные (5 точек; фотография типичного профиля представлена на рис. 4б), и 6 подтипов. Были диагностированы 4 подтипа черноземов: миграционно-мицелярных квазиглееватых (AU – (AUlc) – (AUlc/BCAlc) – (AU/BCAmc) – BCAlc,mc – BCAmc,q), миграционно-мицелярных (AU – (AUlc) – (AUlc/BCAlc) – (AU/BCAmc) – BCAlc, mc), мицелярных квазиглееватых (AU – AU/BCmc – BCAmc – BCAm,cq) и мицелярных (AU – AU/BCmc – BCAmc), и 2 подтипа черноземов глинисто-иллювиальных: миграционно-мицелярных квазиглееватых (AU – AU/BI – (BI/AU) – BI – BCAlc, mc – BCAlc,q) и миграционно-мицелярных (AU – AU/BI – (BI/AU) – BI – BCAlc – BCAmc). Среди черноземов 7 почв были отнесены к сверхмощным и 24 – к мощным; 9 – к среднекарбонатным и 22 – к глубококарбонатным. Все черноземы глинисто-иллювиальные отнесены к мощным глубококарбонатным. Почвы участка

представлены среднесуглинистыми разностями. В качестве почвообразующих пород в равной степени (по 18 скважин) выступают как лессовидные карбонатные тяжелые суглинки, так и лессовидные карбонатные глины. Таким образом, в пределах участка на уровне типа почв выделены 2 группы; на уровне типа и подтипа – 6; на уровне типа, подтипа и вида – 12; на уровне типа, подтипа, вида и разряда – 19.

Основными свойствами исследованных почв являются хорошо выраженная зернистая и комковато-зернистая структура горизонта AU и корневые бусы, копролиты, различные формы карбонатных новообразований. Железо-марганцевые новообразования диагностированы в горизонтах BSAq/Csa,q и Csa,q в почвах, где наблюдается неоднородность гранулометрического состава – более легкий состав верхней части профиля и более тяжелый – нижней, переходной к почвообразующей породе и самой почвообразующей породе (почвы скважин 11, 12, 13, 14, 24, 25, 26, 36). Примазки выступают как индикаторы периодического переувлажнения почв на водоупоре, возникающего, скорее всего, осенью и весной – в период отсутствия корневой десукции; подобные морфологические признаки переувлажнения обнаружены в автоморфных заповедных черноземах, формирующихся на литологически неоднородных породах в годы с повышенным атмосферным увлажнением [24]. Важной особенностью почв является очень высокая степень перерытости животными – как червями (*Lumbricina*), так и слепышами (*Spalax microphthalmus*), следы жизнедеятельности

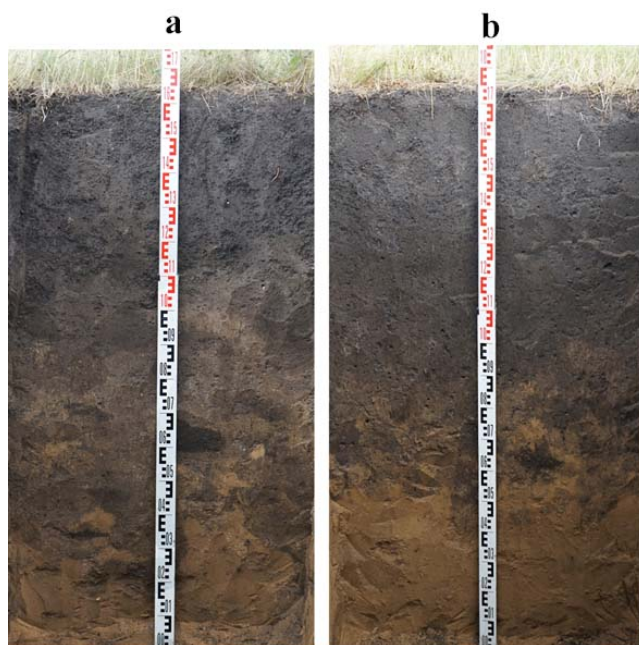


Рис. 4. Чернозем р. I (а) и чернозем глинисто-иллювиальный р. V (б) на участке «Коровино»

[Fig. 4. Haplic Chernozem p. I (a) and Luvic Chernozem p. V (b) at “Korovino” site]

которых отчетливо проявляются в профиле в виде копролитов, прямых и обратных кротовин размерами до 20 см в поперечном разрезе.

Вариабельность свойств почв. В табл. 2 приведены основные статистические показатели морфологического строения почв участка: мощность гумусового горизонта (AU), гумусового профиля (AU + AU/BI или AU + AU/BCA) и глубина обнаружения вторичных карбонатов (глубина вскипания от 10% HCl). Гумусовый горизонт занимает примерно 60–70% от мощности всего гумусового профиля, остаток приходится на темный, хорошо прокрашенный органическим веществом переходный к срединному горизонт. Морфологический облик переходных горизонтов свидетельствует о большой роли почвенных животных в его формировании – эти горизонты очень неоднородны, состоят из материала прямых и обратных кротовин.

Мощность гумусового горизонта в двух исследованных ареалах чернозема и чернозема глинисто-иллювиального близка, и наблюдаемая разница в значениях не является статистически-значимой согласно рассчитанному критерию Краскела–Уоллиса ($p = 0,05$). Вместе с тем меньшая на 9 см мощность гумусового профиля в ареале чернозема в сравнении с ареалом чернозема глинисто-иллювиального статистически значима. Исследованный ареал чернозема статистически значимо отличается от всех исследованных в скважинах черноземов по мощности гумусового горизонта (меньше на 10 см) и профиля (меньше на 27 см), что может являться подтверждением правильности выделения данного ареала на карте.

Вариабельность значений мощностей гумусового горизонта и гумусового профиля невысока – не превышает 15% как для отдельных почвенных профилей, так и для ареалов всего участка. Можно отметить, что вариабельность гумусового горизонта и гумусового профиля, наблюдаемая в пределах одного профиля, близка к вариабельности, наблюдаемой в пределах почвенного ареала и всего исследованного участка, т.е. исследованные автоморфные нативные черноземы достаточно однородны по мощности гумусового горизонта и гумусового профиля. Вместе с тем могут встречаться отдельные участки с экстремальными значениями показателей, и разница между этими экстремальными значениями может достигать 30 см для гумусового горизонта и 60 см для гумусового профиля.

Глубина обнаружения вторичных карбонатов, как правило, приурочена к нижней части гумусового профиля за исключением черноземов глинисто-иллювиальных. Разница между глубиной обнаружения карбонатов для ареала чернозема и чернозема глинисто-иллювиального статистически значима и составляет 62 см. Согласно значениям критерия Краскела–Уоллиса, средняя глубина вскипания почв в ареале чернозема и в черноземах всего участка достоверно не отличаются. Как и в случае с гумусовым горизонтом и гумусовым профилем, глубина вскипания характеризуется низкими значениями коэффициента вариации, не превышает 20% – т.е. участок достаточно однороден по этому параметру, однако разброс значений в некоторых местах может достигать 70 см.

Таблица 2 [Table 2]

**Статистические характеристики морфологических
свойств почв участка «Коровино»**
[Statistical characteristics of the morphological properties of soils of the "Korovino" site]

Выборка [Sample]	n	μ	μ_c	min	max	σ	V, %
Гумусовый горизонт [Chernic horizon]							
Чернозем, р. I [Haplic Chernozem, p. I]	10	55,2	53	47	67	6,7	13
Чернозем, р. II [Haplic Chernozem, p. II]	10	49,7	48,5	46	60	3,9	8
Чернозем, р. III [Haplic Chernozem, p. III]	10	49,8	49,5	44	54	2,9	6
Ареал чернозема* [Polygon of Haplic Chernozem]	30	51,6	50	44	67	5,3	11
Все скважины, почвы которых диагностированы как черноземы [All Haplic Chernozems, studied in soil cores]	31	63,9	60	50	80	7,6	13
Чернозем глинисто-иллювиальный, р. IV [Luvic Chernozem, p. IV]	10	52,3	54	41	57	4,5	8
Чернозем глинисто-иллювиальный, р. V [Luvic Chernozem, p. V]	10	58,9	60	55	64	3,2	5
Чернозем глинисто-иллювиальный, р. VI [Luvic Chernozem, p. VI]	10	48,1	48	41	53	3,2	7
Ареал чернозема глинисто- иллювиального** [Polygon of Luvic Chernozem]	30	53,1	54	41	64	5,7	11
Все скважины, почвы которых диагно- стированы как черноземы глинисто- иллювиальные [All Luvic Chernozems, studied in soil cores]	5	63	60	60	70	4,5	7
Все почвы скважин [All soils, studied in soil cores]	36	63,7	60	50	80	7,2	12
Гумусовый профиль [Chernic + Mollic horizon]							
Чернозем, р. I [Haplic Chernozem, p. I]	10	76	76,5	63	84	6,1	8
Чернозем, р. II [Haplic Chernozem, p. II]	10	82,9	83	63	98	9,7	12
Чернозем, р. III [Haplic Chernozem, p. III]	10	77,8	77,5	70	86	4,6	6
Ареал чернозема* [Polygon of Haplic Chernozem]	30	78,9	78	63	98	7,5	10
Все скважины, почвы которых диагностированы как черноземы [All Haplic Chernozems, studied in soil cores]	31	106,3	105	80	140	13,3	13
Чернозем глинисто-иллювиальный, р. IV [Luvic Chernozem, p. IV]	10	88,4	87	83	96	4,2	5
Чернозем глинисто-иллювиальный, р. V [Luvic Chernozem, p. V]	10	90,7	90	86	96	3,4	4
Чернозем глинисто-иллювиальный, р. VI [Luvic Chernozem, p. VI]	10	79,9	79	72	90	5,5	7

Выборка [Sample]	<i>n</i>	μ	μ_c	min	max	σ	<i>V</i> , %
Ареал чернозема глинисто-иллювиального** [Polygon of Luvic Chernozem]	30	86,3	87	72	96	6,4	7
Все скважины, почвы которых диагностированы как черноземы глинисто-иллювиальные [All Luvic Chernozems, studied in soil cores]	5	90	90	80	100	10	11
Все почвы скважин [All soils, studied in soil cores]	36	104,0	100	80	140	14,0	14
Глубина вскипания от 10%-й HCl [Effervescence line]							
Чернозем, р. I [Haplic Chernozem, p. I]	10	65,8	67	50	75	7,5	11
Чернозем, р. II [Haplic Chernozem, p. II]	10	56	57	46	63	6,6	12
Чернозем, р. III [Haplic Chernozem, p. III]	10	79,3	79,5	72	85	3,5	4
Ареал чернозема* [Polygon of Haplic Chernozem]	30	67,0	67	46	85	11,4	17
Все скважины, почвы которых диагно- стированы как черноземы [All Haplic Chernozems, studied in soil cores]	31	83,1	80	50	110	14,4	18
Чернозем глинисто-иллювиальный, р. IV [Luvic Chernozem, p. IV]	10	106,5	105,5	98	118	5,4	5
Чернозем глинисто-иллювиальный, р. V [Luvic Chernozem, p. V]	10	137	136,5	131	145	4,2	3
Чернозем глинисто-иллювиальный, р. VI [Luvic Chernozem, p. VI]	10	136,2	135,5	125	146	8,6	6
Ареал чернозема глинисто-иллювиального** [Polygon of Luvic Chernozem]	30	126,6	132	98	146	15,7	12
Все скважины, почвы которых диагностированы как черноземы глинисто-иллювиальные [All Luvic Chernozems, studied in soil cores]	5	116	120	110	120	5,5	5
Все почвы скважин [All soils, studied in soil cores]	36	87,6	90	50	120	17,7	20

Примечание. *n* – размер выборки; μ – среднее значение; μ_c – медиана; min – минимальное значение; max – максимальное значение; σ – среднееквадратическое отклонение; *V*, % – коэффициент вариации; * – значения приведены для разрезов I, II и III вместе; ** – значения приведены для разрезов IV, V и VI вместе.

[Note. *n* - sample size; μ - mean value; μ_c - mediana; min - minimum value; max - maximum value; σ - standard deviation; *V*, % - coefficient of variation; * - values are given for soil pits I, II and III together; ** - values are given for soil pits IV, V and VI together].

Важным индикатором генетических особенностей почв участка выступает степень асимметричности полигонов распределения морфометрических свойств почв (рис. 5). Как видно на представленном рисунке, в изучаемых черноземах имеют место левосторонняя асимметрия распределения

мощности гумусированной части профилей черноземов и левосторонняя асимметрия распределения мощности горизонта ВСА, т.е. в изучаемом почвенном пространстве преобладает тенденция снижения мощности гумусированной части профилей и мощности горизонтов ВСА. По показателю глубины вскипания наблюдается правосторонняя асимметрия признака, т.е. тенденция к выщелачиванию карбонатов (рис. 5).

Разброс значений мощностей гумусового горизонта, гумусового профиля и глубины вскипания для целинных черноземов заповедных участков варьирует в значительных пределах; по обобщенным данным [9, 12, 15], мощность гумусового горизонта автоморфных нативных черноземов варьирует от 40 до 100 см, гумусового профиля – от 70 до 140 см, а глубина вскипания – от 20 до 180 см. Полученные нами данные укладываются в обозначенные диапазоны. Сравнение средних значений по перечисленным выше параметрам с заповедными участками (средние значения получены для выборок более 800 точек [15]) показывает, что почвы участка «Коровино» характеризуются меньшей на 3 см мощностью гумусового горизонта и гумусового профиля и на 17 см большей глубиной вскипания; вместе с тем эти цифры не превышают значений стандартных отклонений, поэтому не могут считаться значимыми.

Почвенный покров и оценка почвенного разнообразия на разных классификационных уровнях. В пределах почвенного покрова выделяются несколько зон (рис. 6) – самая широкая, протяженная с Ю-З на С-В центральная зона с более близким залеганием к поверхности карбонатов и достаточно мощным гумусовым профилем, и две зоны, приуроченные к С-З и Ю-В части участка с более глубоким, чем в центральной части, залеганием карбонатов,

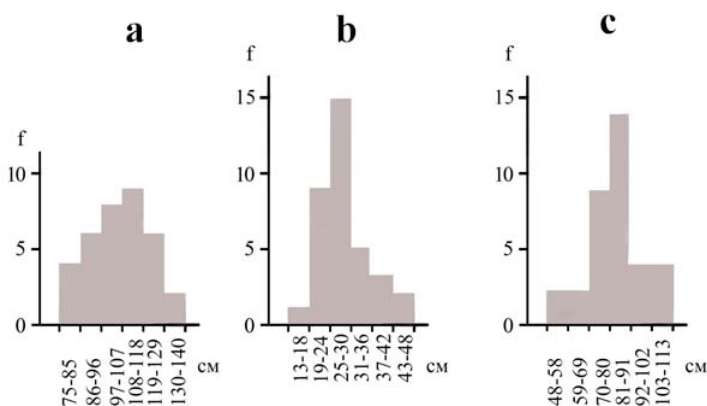


Рис. 5. Гистограммы распределения мощности гумусового профиля (а), горизонтов ВСА (b) и глубины вскипания (с) в выборке черноземов на участке «Коровино» ($n = 34$, объединены данные по почвам разрезов и буровых скважин)

[Fig. 5. Distribution histograms of the Chernic + Mollic horizon thickness (a), horizons with secondary carbonates (b) and effervescence line (c) in a sample of Chernozems at the "Korovino" site ($n = 34$, data on soils of open pits and boreholes combined)]

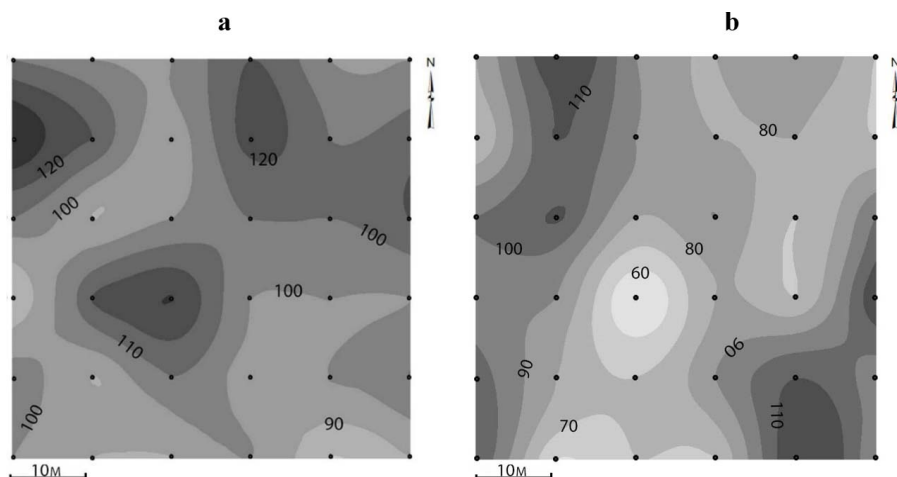


Рис. 6. Мощность гумусового профиля (а) и глубина вскипания почв при реакции с 10% HCl (b) на участке «Коровино»

[Fig. 6. The Chernic + Mollic horizon thickness (a) and the effervescence line (b) at the site “Korovino”]

но более мощным (на С-3) и менее мощным (на Ю-В) гумусовым профилем. Ареалы пониженного вскипания почв линейно вытянуты с Ю-З на С-С-В; предположительно они могут быть связаны с реликтовыми полигонально-блочными структурами, возникшими на стадии вытаивания многолетней мерзлоты в позднем плейстоцене (выщелоченные почвы соответствуют межблочьям, в которых происходило вытаивание ледяных жил) [25]. Чтобы подтвердить или опровергнуть данное предположение, требуется проведение дополнительных исследований с заложением глубоких почвенно-геологических шурфов.

Почвенные карты ключевого участка, построенные для разных уровней классификации, показаны на рис. 7. Черноземы занимают 76% от площади всего участка, наибольшие площади среди которых приходятся на черноземы миграционно-мицелярные мощные глубококарбонатные (26% от площади всего участка и 34% от площади всех черноземов) и миграционно-мицелярные мощные среднекарбонатные (21% от площади всего участка и 28% от площади всех черноземов). Черноземы миграционно-мицелярные мощные среднекарбонатные формируются преимущественно на тяжелых лессовидных суглинках, глубококарбонатные – приблизительно в равной мере как на лессовидных тяжелых суглинках, так и на лессовидных глинах. Миграционно-мицелярный и мицелярный квазиглееватый подтипы черноземов глинисто-иллювиальных занимают приблизительно одинаковые площади (по 7% от всего участка), все виды представлены мощными глубококарбонатными, в качестве почвообразующих пород преобладают лессовидные тяжелые суглинки.

Основная часть участка приходится на области с мощностью гумусового профиля в 100–110 см и глубиной залегания карбонатов на 80–90 см.

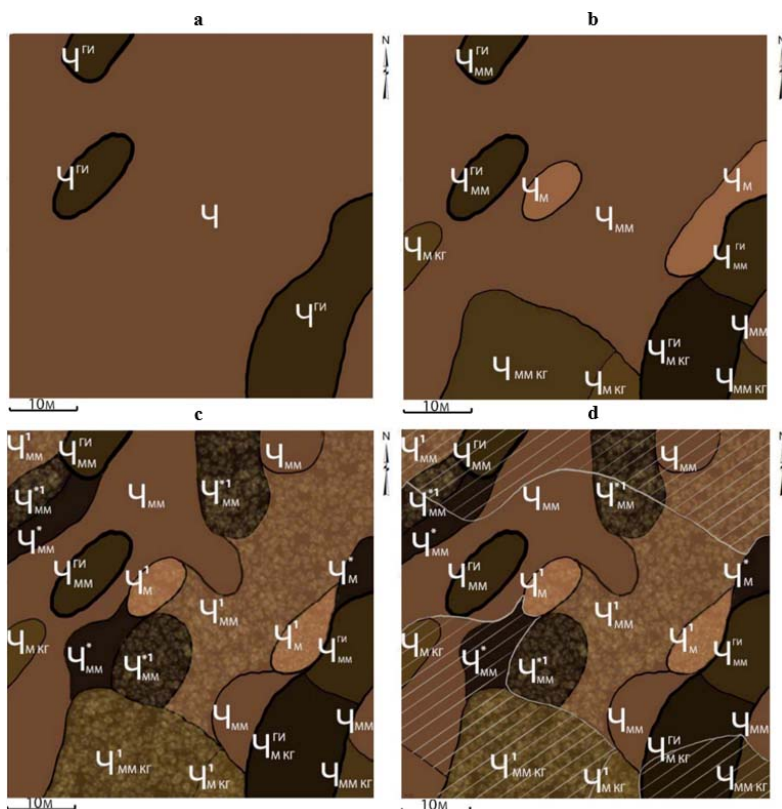


Рис. 7. Почвенные карты ключевого участка «Коровино», построенные для единиц разного классификационного уровня: типов почв (а), подтипов (б), видов (с), разрядов (д). Типы почв: Ч – черноземы, Чги – черноземы глинисто-иллювиальные; подтиповые признаки: м – мицелярные, мм – миграционно-мицелярные, кг – квазиглееватые; видовые признаки: * – сверхмощные, при отсутствии * – мощные; 1 – среднекарбонатные, при отсутствии 1 – глубококарбонатные; серый штриховкой показаны почвы, формирующиеся на лессовидных глинах, в остальных случаях – на лессовидных тяжелых суглинках

[Fig. 7. Soil maps of the “Korovino” site, constructed for units of different classification levels: soil types (a), soil subtypes (b), soil species (c), soil phases (d). Soil types: Ch - chernozems (Haplic Chernozems), Chgi - clayey-illuvial chernozems (Luvic Chernozems); subtype characters: м - mycelial, мм - migratory-mycelial, кг - quasi-gleyic; species characteristics: * - humus profile thickness is more than 120 cm, in the absence of * - humus profile thickness is 80-120 cm; 1 - effervescence line at 50-80 depth, in the absence of 1 - effervescence line at 80-120 depth; gray shading shows soils formed on loess-like clays, in other cases - on loess-like heavy loams]

Почвенные карты ключевого участка, построенные для разных уровней классификации, показаны на рис. 7. Черноземы занимают 76% от площади всего участка, наибольшие площади среди которых приходятся на черноземы миграционно-мицелярные мощные глубококарбонатные (26% от площади всего участка и 34% от площади всех черноземов) и миграционно-мицелярные мощные среднекарбонатные (21% от площади всего участка и 28% от площади всех черноземов). Черноземы миграционно-мицелярные мощные среднекарбонатные формируются преимущественно на тяжелых

лессовидных суглинках, глубококарбонатные – приблизительно в равной мере как на лессовидных тяжелых суглинках, так и на лессовидных глинах. Миграционно-мицелярный и мицелярный квазиглееватый подтипы черноземов глинисто-иллювиальных занимают приблизительно одинаковые площади (по 7% от всего участка), все виды представлены мощными глубококарбонатными, в качестве почвообразующих пород преобладают лессовидные тяжелые суглинки.

В качестве преобладающих на карте типов и подтипов почв выступают соответственно ареалы черноземов и черноземов миграционно-мицелярных. На их фоне выделяются ареалы других почв, имеющие преимущественно вытянутую с Ю-З на С-В форму, соответствующую направлению падения очень пологого склона участка. Крупный ареал чернозема дробится на более мелкие при изменении единиц картографирования от более высоких классификационных уровней к более низким; в случае черноземов глинисто-иллювиальных границы двух ареалов, выделенные на карте типов почв в С-З части участка, остаются неизменными при понижении классификационного уровня картографируемых единиц. Единый ареал в Ю-В части участка дробится на 3 части при переходе от уровня типа к уровню разряда.

Наибольшее количество ареалов на карте разрядов представлено черноземами миграционно-мицелярными мощными глубококарбонатными на тяжелых лессовидных суглинках (4 ареала), черноземами миграционно-мицелярными сверхмощными среднекарбонатными на лессовидных тяжелых суглинках (3 ареала), черноземами миграционно-мицелярными мощными глубококарбонатными на лессовидных глинах (3 ареала). Остальные разряды преимущественно представлены двумя ареалами. Наибольшее число соседств характерно для ареалов черноземов миграционно-мицелярных мощных глубоко- и среднекарбонатных на лессовидных тяжелых суглинках; наименьшее число соседств – для черноземов миграционных квазиглееватых мощных глубококарбонатных на лессовидных глинах и среднекарбонатных на лессовидных тяжелых суглинках.

Структура почвенного покрова может быть описана как спорадически-пятнистая микрокомбинация черноземов миграционно-мицелярных мощных глубоко- и среднекарбонатных, выступающих в качестве фона и вытянутых, преимущественно овальных ареалов черноземов глинисто-иллювиальных миграционно-мицелярных и мицелярных квазиглееватых мощных глубококарбонатных, черноземов миграционно-мицелярных сверхмощных глубоко- и среднекарбонатных, черноземов миграционно-мицелярных квазиглееватых глубоко- и среднекарбонатных, черноземов мицелярных сверхмощных и мощных средне- и глубококарбонатных.

Форма почвенных ареалов и эволюция почвенного покрова связана с роющей деятельностью животных и формированием таким образом микрорельефа, обусловливавшего перераспределение влаги в пределах участка [26]. Почвенный покров участка является типичным для водораздельных пространств заповедной лесостепи [9, 12, 14]. Рисунок почвенного покрова и число компонентов повторяют рисунок и число компонентов в пределах

слабонаклонных пахотных склонов Среднерусской возвышенности [27], вместе с тем состав компонентов различен – на пашне появляются слабо-эродированные почвенные разности. Почвенный покров пахотных пологих и крутых склонов значительно отличается от почвенного покрова непашотных участков не только составом компонентов, но и пространственным рисунком – преобладают древовидные структуры, эволюция которых определяется эрозионно-аккумулятивными, а не водно-миграционными процессами как на непашотных участках [9, 12, 27].

Анализ контрастности почвенного покрова, основанный на расчете таксономических расстояний между почвенными группами уровня разрядов, показал, что самой контрастной парой в пределах участка является пара чернозема миграционно-мицелярного сверхмощного среднекарбонатного на лессовидном тяжелом суглинке (скважина 5) и чернозема глинисто-иллювиального мицелярного квазиглееватого мощного глубококарбонатного на лессовидной глине (скважина 25), значение таксономического расстояния равно 1,6. Ареалы этих почв удалены друг от друга и находятся на разных концах участка. Наиболее контрастная пара почв, ареалы которых соседствуют на участке, представлена черноземом мицелярным мощным среднекарбонатным на тяжелом лессовидном суглинке и черноземом глинисто-иллювиальным миграционно-мицелярным мощным глубококарбонатным на лессовидной глине; значение таксономического расстояния между почвами равно 1,4. Наименее контрастными являются пары, отличающиеся только по характеру почвообразующих пород, например, черноземы миграционно-мицелярные мощные глубококарбонатные на тяжелых суглинках и глинах со значениями таксономического расстояния, равного 0,1. Как правило, ареалы этих групп почв соседствуют друг с другом. Среднее значение таксономического расстояния на участке равно 0,7, почвенный покров участка можно обозначить как слабоконтрастный.

В табл. 3 приведены значения индексов разнообразия, рассчитанные для различных единиц картографирования почв. Значения индексов ожидаемо растут при уменьшении классификационного уровня картографируемых единиц, сопровождаемого увеличением числа ареалов [28]. Общей тенденцией для числа ареалов, индексов богатства, Шеннона и Симпсона является приблизительно двукратное увеличение значений при переходе от классификационного уровня типа к уровню подтипа и уровню вида. Двукратное увеличение значения индекса Рао наблюдается только при переходе от классификационного уровня подтипа к уровню вида; значения индексов Рао, рассчитанные для классификационного уровня вида и разряда, практически не отличаются. Таким образом, резкий рост значений всех индексов разнообразия наблюдается при переходе от классификационного уровня подтипа к уровню вида; наименьший рост – при переходе от уровня вида к уровню разряда. Вероятно, уровень вида является наиболее оптимальным для проведения оценок количественного разнообразия нативных почв лесостепи.

Таблица 3 [Table 3]

**Значения индексов разнообразия почвенного покрова участка «Коровино»,
рассчитанные для разных классификационных уровней**
[Values of diversity indices for the soils of “Korovino” site,
calculated for different soil taxonomic levels]

Классификационный уровень, на котором выполнено картографирование почв [The soil classification level at which the soil mapping has been conducted]	Число ареалов [Number of poly- gons]	Индексы разнообразия [Diversity index]			
		Богат- ства [Rich- ness]	Шен- нона [Shan- non]	Симп- сона [Simp- son]	Рао [Ruo]
Тип (см. рис. 7a) [Soil type (see Fig. 7a)]	5	2	0,61	0,28	0,12
Подтип (см. рис. 7b) [Soil subtype (see Fig. 7b)]	12	6	1,28	0,52	0,16
Вид (см. рис. 7c) [Soil species (see Fig. 7c)]	22	12	2,49	0,87	0,31
Разряд (см. рис. 7d) [Soil phases (see Fig. 7d)]	30	19	3,07	0,94	0,33

Количественная оценка почвенного разнообразия является относительно новым направлением в географии почв и работы, посвященные оценке разнообразия почв лесостепи, единичны [17]. Полученные нами индексы разнообразия, рассчитанные на уровне подтипа для ключевого участка с нативными автоморфными черноземами, оказались ниже, чем индексы, рассчитанные для участка горной лесостепи Алтая (размер участка 7 км × 4,5 км, индекс Шеннона 2,4, Симпсона 0,8) [29] и для двух пахотных участков размерами 30 м × 50 м в агроландшафте лесостепи Белгородской области (средние значения индексов богатства – 8, Шеннона – 1,5, Симпсона – 0,86, Рао – 0,57) [30], но выше чем для трансекты (размер 30 м × 50 м) под лесополосой (индекс богатства – 8, Шеннона – 0,89, Симпсона – 0,83, Рао – 0,42).

Таким образом, исследованный почвенный покров участка с нативными черноземами характеризуется невысоким почвенным разнообразием, а структура почвенного покрова типична для заповедных участков лесостепных ландшафтов как для плакоров, так и пологих склонов. Пространственный рисунок и число компонентов, а значит, и уровень почвенного разнообразия сходны для исследованного нами участка и пахотных приводораздельных слабонаклонных склонов (уклон до 2°) на территории Среднерусской возвышенности, хотя и отличаются компонентным составом. Вместе с тем почвенный покров пахотных пологих и крутых склонов претерпевает существенные изменения по сравнению с непахотными участками – не только в составе компонентов, но и в пространственном рисунке; распашка приводит к доминированию эрозионно-аккумулятивных, а не водно-миграционных механизмов в процессах связи компонентов и эволюции почвенных комбинаций.

Выводы

На основании изучения почвенного покрова участка (размеры 50 × 50 м), функционирующего в режиме сенокоса/выгона по крайней мере последние 240 лет в пределах старо освоенной лесостепи Среднерусской возвышенности (Белгородская область), могут быть сформулированы следующие выводы.

1. Структура почвенного покрова представлена спорадически-пятнистой микрокомбинацией черноземов миграционно-мицелярных мощных глубоко- и среднекарбонатных, выступающих в качестве фона (приблизительно половина от площади всего участка) и вытянутых, преимущественно овальных ареалов черноземов глинисто-иллювиальных миграционно-мицелярных и мицелярных квазиглееватых мощных глубококарбонатных, черноземов миграционно-мицелярных сверхмощных глубоко- и среднекарбонатных, черноземов миграционно-мицелярных квазиглееватых глубоко- и среднекарбонатных, черноземов мицелярных сверхмощных и мощных средне- и глубококарбонатных. Почвенный покров участка слабо контрастный, что подтверждается расчетами таксономических расстояний.

2. Средняя мощность гумусового горизонта составляет 60 см как для черноземов, так и для черноземов глинисто-иллювиальных; мощность гумусового профиля – 105 см для черноземов и 90 см для черноземов глинисто-иллювиальных, глубина вскипания – 80 и 120 см соответственно. Коэффициенты внутрипрофильной вариации, вариации внутри ареалов и в пределах всего участка для мощностей гумусового горизонта, профиля и глубины вскипания близки между собой и не превышают 20%. Вместе с тем разница между экстремумами в пределах участка может достигать 30 см для гумусового горизонта, 60 см для гумусового профиля и 70 см для глубины вскипания.

3. Разнообразие почв ключевого участка невелико; значения индексов разнообразия Шеннона, Симпсона и число ареалов на карте двукратно увеличиваются при уменьшении классификационного уровня картографируемых единиц от типов к подтипам и от подтипов к видам; значения индекса квадратной энтропии Рао, учитывающего не только число ареалов и занимаемую ими долю от площади всего участка (как индексы Шеннона и Симпсона), но и контрастность почв по отношению друг другу, тоже увеличиваются при уменьшении классификационного уровня картографируемых единиц, однако резкое двукратное увеличение значений наблюдается только при переходе от уровня подтипа к уровню вида. Вероятно, уровень вида является наиболее оптимальным для проведения оценок количественного разнообразия почв лесостепи.

Список источников

1. Лойко С.В., Ткачева А.А., Истигечев Г.И., Кузьмина Д.М., Кулижский С.П. Залежные земли и особенности исторического природопользования в ареале тёмно-серых лесных типичных почв Северного Притома (Западная Сибирь) // Почвы и окружающая среда. 2024. Т. 7, № 3. e283–e283. doi: 10.31251/pos.v7i3.283
2. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М. : ГЕОС, 2010. 415 с.
3. Тишков А.А. Новые подходы к сохранению степей староосвоенных черноземных регионов России // Вопросы степеведения. 2024. № 1. С. 22–31. doi: 10.24412/2712-8628-2024-1-22-31
4. Labaz B., Hartemink A.E., Zhang Y., Stevenson A., Kabala C. Organic carbon in Mollic soils of the world – A review // Geoderma. 2024. Vol. 447. 116937. doi: 10.1016/j.geoderma.2024.116937
5. Smelansky I.E., Tishkov A.A. The steppe biome in Russia: Ecosystem services, conservation status, and actual challenges // Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World, Plant and Vegetation. 2012. Vol. 6. PP. 45–101. doi: 0.1007/978-94-007-3886-7_2
6. Грошева О.А. Эволюционное развитие черноземов и степей Евразии в исторической ретроспективе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 12. С. 31–35.
7. Чернова О.В. Сохранение естественных почв на охраняемых природных территориях Российской Федерации // Известия РАН. Серия географическая. 2012. № 2. С. 30–37. doi: 10.15356/0373-2444-2012-2-30-37
8. Марголина Н.Я., Александровский А.Л., Ильичев Б.А., Черкинский А.Е., Чичагова О.А. Возраст и эволюция черноземов. М. : Наука, 1988. 144 с.
9. Афанасьева Е.А. Черноземы Среднерусской возвышенности. М. : Наука, 1966. 224 с.
10. Черноземы СССР / под ред. В.М. Фридланда, И.И. Лебедевой. М. : Колос, 1974. Т. 1. 559 с.
11. Целищева Л.К., Дайнеко Е.К. Очерк почв Стрелецкого участка Центрально-черноземного заповедника // Тр. Центрально-черноземного государственного заповедника им. В.В. Алёхина. 1966. Вып. 10. С. 154–186.
12. Смирнова К.М. Комплексность почвенного покрова в курских заповедных степях // Почвоведение. 1941. № 5. С. 44–61.
13. Русаков А.В. Почвы и почвенный покров Ямской степи. СПб. : Изд. дом Санкт-Петербургского гос. ун-та, 2012. 215 с.
14. Lozbenev N., Yurova A., Smirnova M., Kozlov D. Incorporating process-based modeling into digital soil mapping: A case study in the virgin steppe of the central Russian upland // Geoderma. 2021. Vol. 383. 114733. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114733
15. Фридланд В.М., Белобров В.П., Дайнеко Е.К. Опыт статистического анализа морфологических свойств черноземов целинной степи // Почвоведение. 1969. № 4. С. 12–24.
16. Ibanez J.J., Vargas R.J., Vazquez-Hoehne A. Pedodiversity state of the art and future challenges // Pedodiversity / ed. by J.J. Ibanez, J.G. Bockheim. London : CRC Press, 2013. PP. 1–28.
17. Красильников П.В., Герасимова М.И., Голованов Д.Л., Конюшкова М.В., Сидорова В.А., Сорокин А.С. Почвенное разнообразие и его значение в контексте современной географии почв // Почвоведение. 2018. № 1. С. 1–13. doi: 10.7868/S0032180X1801001X

18. Olson D.M., Dinerstein E., Wikramanayake E.D., Burgess N.D., Powell G.V.N., Underwood E.C., D'Amico J.A. Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth // *Bioscience*. 2001. Vol. 51 (11). PP. 933–938. doi: 10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2
19. Полевой определитель почв. М. : Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
20. Классификация и диагностика почв СССР. М. : Колос, 1977. 221 с.
21. Геннадиев А.Н., Жидкин А.П., Олсон К.Р., Качинский В.Л. Эрозия почв в различных условиях землепользования: оценка методом магнитного трассера // *Почвоведение*. 2010. № 9. С. 1126–1134.
22. Minasny B., McBratney A.B., Hartemink A.E. Global pedodiversity, taxonomic distance, and the World Reference Base // *Geoderma*. 2010. Vol. 155. PP. 132–139. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.04.024
23. Хитров Н.Б. Создание детальных почвенных карт на основе интерполяции данных о свойствах почв // *Почвоведение*. 2012. № 10. С. 1045–1046.
24. Базыкина Г.С., Овечкин С.В. Влияние цикличности климата на водный режим и карбонатный профиль черноземов центра европейской части России и сопредельных территорий // *Почвоведение*. 2016. № 4. С. 475–488. doi: 10.7868/S0032180X1604002X
25. Алифанов В.М. Палеокриогенез и современное почвообразование. Пущино : ОНТИ ПНЦ РАН, 1995. 318 с.
26. Дмитриев П.П., Худяков О.И. Педогенез в поселениях млекопитающих-землероев. М. : КМК, 2018. 250 с.
27. Фишман М.И. Черноземные комплексы и их связь с рельефом на Среднерусской возвышенности // *Почвоведение*. 1977. № 5. С. 17–30.
28. Красильников П.В., Герасимова М.И., Голованов Д.Л., Головлёва Ю.А., Конюшкова М.В., Сидорова В.А., Сорокин А.С. Разнообразие и пространственная организация почвенного покрова в разных картографических масштабах // *Почвоведение*. 2020. № 8. С. 913–920. doi: 10.31857/S0032180X20080092
29. Smirnova M.A., Bocharnikov M.V. Ecosystem, vegetation and soil diversity of the mountain forest-steppe of West Altai (a case study of the Tigirek State Natural Reserve) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. 2021. Vol. 908, № 1. 012028. doi: 10.1088/1755-1315/908/1/012028
30. Смирнова М.А., Геннадиев А.Н., Чендев Ю.Г., Ковач Р.Г. Влияние защитных лесных насаждений на локальное разнообразие почв (Белгородская область) // *Почвоведение*. 2020. № 9. С. 1041–1052. doi: 10.31857/S0032180X20090166

References

1. Lojko SV, Tkacheva AA., Istigechev GI, Kuz'mina DM, Kulizhskij SP. Historical context for abandoned lands and land use in the area of Luvic Greyzemic Phaeozems of the Northern Pritomye (West Siberia). *The Journal of Soils and Environment*. 2024; 7(3):e283–e283. In Russian, English summary. doi: 10.31251/pos.v7i3.283
2. Lyuri DI, Goryachkin SV, Karavaeva NA, Denisenko EA, Nefedova TG. Dinamika sel'skoxozyajstvenny'x zemel' Rossii v XX veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv [Dynamics of agricultural lands of Russia in the twentieth century and post-agrogenic restoration of vegetation and soils]. Moscow: GEOS Publ.; 2010. 415 p. In Russian
3. Tishkov AA. New approaches to the conservation of steppes in the old-developed chernozem regions of Russia. *Voprosy stepovedeniya*. 2024;1:22–31. In Russian, English summary. doi: 10.24412/2712-8628-2024-1-22-31

4. Labaz B, Hartemink AE, Zhang Y, Stevenson A, Kabala C. Organic carbon in Mollisols of the world - A review. *Geoderma*. 2024;447:116937. doi: 10.1016/j.geoderma.2024.116937
5. Smelansky IE, Tishkov AA. The steppe biome in Russia: ecosystem services, conservation status, and actual challenges. *Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World, Plant and Vegetation*. 2012;6:45-101. doi: 0.1007/978-94-007-3886-7_2
6. Grosheva OA. Evolutionary development of chernozems and steppes of Eurasia in historical retrospective. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2020;12:31-35. In Russian, English summary
7. Chernova OV. Sohranenie estestvennykh pochv na ohranyaemykh prirodnym territoriyah Rossijskoj Federacii [Conservation of Virgin Soils' Diversity in Network of Nature Reserves of the Russian Federation]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2012;2:30-37. In Russian. doi: 10.15356/0373-2444-2012-2-30-37
8. Margolina NYA, Aleksandrovskij AL, Il'ichev BA, Cherkinskij AE, Chichagova OA. Vozrast i evolyuciya chernozemov [Age and evolution of chernozems]. Moscow: Nauka Publ.; 1988. 144 p. In Russian
9. Afanas'eva EA. Chernozemy Srednerusskoj vozvysheynosti [Chernozems of the Central Russian Upland]. Moscow: Nauka Publ.; 1966. 224 p. In Russian
10. Chernozemy SSSR [Chernozems of the USSR]. Vol. 1. Fridland VM, Lebedeva II, editors. Moscow: Kolos; 1974. 559 p. In Russian
11. Celishcheva LK, Dajneko EK. Ocherk pochv streleckogo uchastka central'no-chernozemnogo zapovednika [Essay on the soils of the Streltsy section of the Central Chernozem Reserve]. In: *Tr. Central'no-chernozemnogo gosudarstvennogo zapovednika im. V.V. Alyohina* [Works of the Central Black Earth State Reserve named after V.V. Alekhine]. 1966. Iss. 10. pp. 154-186. In Russian
12. Smirnova KM. Complexity of soil cover in the Kursk protected steppes. *Pochvovedenie*. 1941;5:44-61. In Russian, English summary
13. Rusakov AV. Pochvy i pochvennyj pokrov Yamskoj stepi [Soils and soil cover of the Yamskaya steppe]. St. Petersburg: Izd. dom Sankt-Peterburgskogo gos. un-ta; 2012. 215 p. In Russian
14. Lozbenov N, Yurova A, Smirnova M, Kozlov D. Incorporating process-based modeling into digital soil mapping: a case study in the virgin steppe of the Central Russian Upland. *Geoderma*. 2021;383:114733. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114733
15. Fridland VM, Belobrov VP, Dajneko EK. Experience of statistical analysis of the morphological properties of virgin steppe chernozems. *Pochvovedenie*. 1969;4:12-24. In Russian, English summary
16. Ibanez JJ, Vargas RJ, Vazquez-Hoehne A. Pedodiversity state of the art and future challenges. Ibanez JJ, Bockheim JG, editors. *Pedodiversity*. London: CRC Press; 2013. pp. 1-28.
17. Krasilnikov PV, Gerasimova MI, Golovanov DL, Konyushkova MV, Sorokin AS, Sidorova VA. Pedodiversity and its significance in the context of modern soil geography. *Eurasian Soil Science*. 2018;51:1-13. doi: 10.1134/S1064229318010118
18. Olson DM, Dinerstein E, Wikramanayake ED, Burgess ND, Powell GVN, Underwood EC, D'Amico JA. Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth. *Bioscience*. 2001;51(11):933-938. doi: 10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2
19. Polevoy opredelitel' pochv [Field soil guide]. Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute; 2008. 182 p. In Russian
20. Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostic system of Russian soils]. Smolensk: Oikumena Publ.; 2004. p. in Russian

21. Gennadiev AN, Zhidkin AP, Olson KR, Kachinskii VL. Soil erosion under different land uses: Assessment by the magnetic tracer method. *Eurasian Soil Science*. 2010;43:1047-1054. doi: 10.1134/S1064229310090127
22. Minasny B, McBratney AB, Hartemink AE. Global pedodiversity, taxonomic distance, and the World Reference Base. *Geoderma*. 2010;155:132-139. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.04.024
23. Khitrov NB. The development of detailed soil maps on the basis of interpolation of data on soil properties. *Eurasian Soil Science*. 2012;45(10):918-928. doi: 10.1134/S1064229312100043
24. Bazykina GS, Ovechkin SV. The influence of climate cycles on the water regime and carbonate profile in chernozems of Central European Russia and adjacent territories. *Eurasian Soil Science*. 2016;49(4):437-449. doi: 10.1134/S1064229316040025
25. Alifanov VM. Paleokriogenez i sovremennoe pochvoobrazovanie [Paleocryogenesis and modern soil formation]. Pushhino: ONTI PNCz RAN Publ.; 1995. 318 p. In Russian
26. Dmitriev PP, Hudyakov OI. Pedogenez v poseleniyah mlekopitayushchih-zemleroev [Pedogenesis in settlements of earth-moving mammals]. Moscow: KMK Publ.; 2018. 250 p. In Russian
27. Fishman MI. Chernozemnye komplekсы i ih svyaz' s rel'efom na Srednerusskoj vozvysheynosti [Chernozem complexes and their connection with the relief on the Central Russian Upland]. *Pochvovedenie*. 1977;5:17-30. In Russian, English summary
28. Krasilnikov PV, Gerasimova MI, Golovanov DL, Golovleva YA, Konyushkova MV, Sidorova VA, Sorokin AS. Soil cover diversity and its spatial organization at different map scales. *Eurasian Soil Science*. 2020;53:1013-1020. doi: 10.1134/S1064229320080098
29. Smirnova MA, Bocharnikov MV. Ecosystem, vegetation and soil diversity of the mountain forest-steppe of West Altai (a case study of the Tigirek State Natural Reserve). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;908(1):012028. doi: 10.1088/1755-1315/908/1/012028
30. Smirnova MA, Gennadiev AN, Chendev YG, Kovach RG. Influence of Forest Shelterbelts on local pedodiversity (Belgorod Oblast). *Eurasian Soil Science*. 2020;53(9):1195-1205. doi: 10.1134/S1064229320090161

Информация об авторах:

Смирнова Мария Андреевна, канд. геогр. наук, доцент кафедры геохимии ландшафтов и географии почв, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5256-4348>

E-mail: summerija@yandex.ru

Чендев Юрий Георгиевич, д-р геогр. наук, проф. кафедры природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет (Белгород, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7864-041X>

E-mail: sciences@mail.ru

Нарожняя Анастасия Георгиевна, канд. геогр. наук, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет (Белгород, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4271-1607>

E-mail: narozhnyaya_A@bsu.edu.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Maria A. Smirnova, Cand. Sci. (Geography), Assoc. Prof. of the Department of landscape geochemistry and soil geography, Faculty of Geography, M.V. Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5256-4348>

E-mail: summerija@yandex.ru

Yuri G. Chendev, Dr. Sci. (Geography), Professor of the Department of environmental management and land cadastre, Belgorod State National Research University (Belgorod, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7864-041X>

E-mail: sciences@mail.ru

Anastasia G. Narozhnaya, Cand. Sci. (Geography), Assoc. Prof. of the Department of environmental management and land cadastre, Belgorod State National Research University (Belgorod, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4271-1607>

E-mail: narozhnaya_A@bsu.edu.ru

The Authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 09.08.2024;
одобрена после рецензирования 31.10.2024; принята к публикации 04.09.2025*

*The article was submitted 09.08.2024;
approved after reviewing 31.10.2024; accepted for publication 04.09.2025*