

**ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ
ЛАНДШАФТОВ/PHYSICAL GEOGRAPHY AND BIOGEOGRAPHY, SOIL GEOGRAPHY AND LANDSCAPE
GEOCHEMISTRY**

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.23>

**ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ БУФЕРНОСТИ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНОРУДНОГО
ПРОИЗВОДСТВА И В УСЛОВИЯХ АКТИВНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В
АГРОЛАНДШАФТАХ**

Научная статья

Лисецкий Ф.Н.^{1,*}

¹ORCID : 0000-0001-9019-4387;

¹ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (fnliset[at]mail.ru)

Аннотация

Обоснованы показатели регионального геохимического фона для условий типичной лесостепи и показана трансформация почв заповедной территории, примыкающей к зоне активного железорудного производства, в результате аэробиогенного загрязнения. Установлено под влиянием профильной миграции тяжелых металлов и металлоидов увеличение в целинной почве содержания As, Ni, Cu, Zn с глубиной. Для территории потенциального влияния Старооскольско-Губкинского промышленного района КМА построены картограммы распределения величин органического вещества, кислотности, доли частиц < 0,01 мм и интегрального качества почв, что позволило определить значимые различия буферной способности почв на правобережной и левобережной частях бассейна р. Оскол.

Ключевые слова: почвенное органическое вещество, тяжелые металлы/металлоиды, аэробиогенное загрязнение, буферность почв, почвенные эталоны.

**PREREQUISITES FOR THE FORMATION OF SOIL BUFFERING CAPACITY IN THE AREA AFFECTED BY
MINING AND IN CONDITIONS OF ACTIVE TRANSFORMATION OF ORGANIC MATTER IN THE
AGRICULTURAL LANDSCAPE**

Research article

Lisetskii F.N.^{1,*}

¹ORCID : 0000-0001-9019-4387;

¹ Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation

* Corresponding author (fnliset[at]mail.ru)

Abstract

The indicators of the regional geochemical background for typical forest-steppe conditions are substantiated, and the transformation of soils in the protected area adjacent to the zone of active iron ore production as a result of aerobiogenic pollution is shown. It has been established that under the influence of profile migration of heavy metals and metalloids, the content of As, Ni, Cu, and Zn in virgin soil increases with depth. For the territory of potential influence of the Stary Oskol-Gubkinsk industrial area of the KMA, cartograms of the distribution of organic matter, acidity, the proportion of particles < 0.01 mm and the integral quality of soils were constructed, which made it possible to determine significant differences in the buffer capacity of soils on the right and left banks of the Oskol River basin.

Keywords: soil organic matter, heavy metals/metalloids, aerobiogenic pollution, soil buffering capacity, soil standards.

Введение

Согласно существующим представлениям [1], [2], почвенную матрицу, которая прямо или косвенно влияет на все свойства почвы, формирует, чаще унаследованный от материнской породы гранулометрический состав, и состояние гумуса. Педотрансферная функция «гранулометрический состав — гумусоаккумулятивная способность» опирается на механизм влияния водно-воздушного режима почв на трансформацию растительного вещества (преимущественно корневых остатков) и его гумификацию [3]. Однако при поиске статистических зависимостей между гранулометрическим составом и гумусом даже с такими фракциями, как физическая глина и ил, коэффициенты корреляции оказались невысокими (до 0,40), что можно объяснить влиянием значительного количества промежуточных звеньев, которые вносят свой специфический вклад в процесс трансформации растительных остатков [3]. Комплексообразующая функция почвенного органического вещества (ПОВ), вовлекающая глинистые минералы и (гидро)оксиды металлов посредством физических или химических процессов, позволяет снизить или минимизировать минерализацию органического углерода организмами и повысить его устойчивость [4]. Проведенные ранее мониторинговые исследования влияния выбросов загрязняющих веществ от промышленных производств и автотранспорта на экологическое состояние почв [5] показали, что в гумусовом горизонте агропочв повышенные концентрации поллютантов коррелируют с содержанием гумуса и физической глины. Аналитически определяемое распределение гранулометрических элементов выступает лишь косвенным признаком потенциала почв в инактивации загрязнителей, из-за того, что именно глинистые минералы из илистых фракций наиболее эффективно участвуют в более сложных процессах формирования органо-минеральных соединений и различных типов микро- и

макроструктуры почвы [6], [7]. Важной составляющей почвенно-экологического мониторинга и прогноза времени превышения допустимых экологических норм является пространственный анализ различий устойчивости почв к воздействию поллютантов, то есть факторов, обусловливающих буферность почв.

Цель работы состояла в определении для пахотных почв Старооскольско-Губкинского горнопромышленного района Курской магнитной аномалии (КМА) превышений содержания ключевых тяжелых металлов относительно впервые обоснованного регионального геохимического фона и установлении территориальных особенностей буферной способности почв на основе интеграции данных о распределении показателей содержания органического вещества, доли частиц $< 0,01$ мм и кислотности почв. Большая часть Белгородской области относится к природно-территориальному комплексу типичной лесостепи, который характеризуется наибольшими высотами на западных отрогах Среднерусской возвышенности с близким залеганием кристаллических пород Воронежской антеклизы [8]. Этот регион, в котором разведаны 5 месторождений богатых руд и 9 месторождений железистых кварцитов, составляет основу железнорудной промышленности КМА, с такими крупными недропользователями Белгородской области, как Лебединский и Стойленский горно-обогатительные комбинаты.

Методы исследования

Почвы агроландшафтов в ареале влияния Старооскольско-Губкинского промышленного района помимо проявлений деградационных процессов, как правило, сопровождающих современные агротехнологии, испытывают воздействие аэротехногенного загрязнения. Считается [9], что даже в 140 км от Стойленского и Лебединского ГОКОв выявляется в почвах более высокое содержание Cr, Zn, V, Ba по сравнению с фоновыми значениями. Объектом, который мог бы стать потенциальным эталоном сравнения почвенных свойств для зоны экологического воздействия Старооскольско-Губкинского промышленного района, выбран близко расположенный и последний сохранившийся в Белгородской области участок плакорных луговых степей — «Ямская степь» (на площади 566 га), который входит в состав ГПЗ «Белогорье». Кроме того, для обоснования регионального геохимического фона (РГФ) автором привлечены данные по удаленным от КМА заповедным участкам.

Химико-аналитические результаты получены в испытательной лаборатории Белгородского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба». Содержание почвенного органического вещества (ПОВ, %) определено согласно ГОСТ 26213-2021, содержание общего азота в почве (Nвал., %) по ГОСТ Р 58596-2019, величина pH водной вытяжки по ГОСТ 26423-85. Определение содержания в почве подвижного органического вещества (лабильный гумус и содержание в нем углерода) проводили по методике М.А. Егорова [10]. Окраску почвы (сухие/влажные образцы) диагностировали с помощью кодов системы Манселла [11].

С целью определения территориальных особенностей перераспределения в атмосфере выбросов пыли, образующейся при взрывах на рудниках и выдуваемой ветром из стенок карьеров, отвалов и хвостохранилищ, продуктов термической обработки сырья или сжигания топлива производствами коммунально-бытовых служб городов, горнодобывающей промышленности, другими производствами, была выбрана ассоциация из четырех тяжелых металлов, которые характеризуются одними из наиболее высоких величин коэффициентов атмогеохимической активности таких тяжелых металлов (ТМ), как Cd, Pb, Cu, Zn. Содержание ТМ определяли в двух повторениях, а при наличии недопустимых расхождений между результатами первой и второй повторности выполняли последующие повторения до достижения приемлемого результата. Если по точкам отбора на территории КМА ($n=337$) проводили сопряженные определения содержания ТМ (Cd, Pb, Cu, Zn), ПОВ, pH, то из-за трудоёмкости определения гранулометрического состава содержание частиц $< 0,01$ мм определяли путем совмещения картосхемы отбора с почвенной картой с целью координирования каждой точки с качественней градацией классификации почв Н.А. Качинского для степного типа почвообразования и включения в базу данных среднего содержания физической глины по каждой градации.

Для построения картосхем, учитывая необходимость унификации разных единиц измерения почвенных параметров, было проведено их нормирование. При этом использовано две формулы, т.к. у величин pH и содержания частиц $< 0,01$ мм можно установить оптимальные значения, от которых уменьшение или увеличение величин ухудшают их влияние на качество почв, а по содержанию органического углерода (Сорг) величины выше оптимального значения можно расценивать как избыточные.

Формулы преобразования почвенных параметров с учетом оптимального значения имеют следующий вид:

если $X_i \leq OPT$, то $N_i = (X_i - Min(X)) / (OPT - Min(X))$;

если $X_i > OPT$, то $N_i = 1 - (X_i - OPT) / (Min(X) - OPT)$.

где:

X_i — исходное значение показателя;

N_i — преобразованное значение показателя;

OPT — оптимальное значение (45,5% для гранулометрического состава, 3,474% для содержания органического углерода, 7 для pH);

$Min(X)$ — минимально возможное (но не в выборке) значение показателя: для содержания органического углерода и доли частиц $< 0,01$ мм $Min(X) = 0\%$, для pH $Min(X) = 3,5$;

$Max(X)$ — максимально возможное значение показателя: для гранулометрического состава $Max(X) = 100\%$, для содержания органического углерода $Max(X) = 6,948\%$ (соответствует содержанию гумуса 12%), для pH $Max(X) = 10,0$.

Формула преобразования для органического углерода, при которой после достижению оптимума состояние почвы остается стабильным, имеет вид:

если $X_i \leq OPT$, то $N_i = (X_i - Min(X)) / (OPT - Min(X))$;

если $X_i > OPT$, то $N_i = 1$.

Интегральная оценка качества почв (SQ) была определена путем расчета среднегеометрического значения по трем почвенным факторам, т.е. способом, что применяется в обновленном индексе Стори (Storie index), и целесообразность которого была обоснована при обобщении цифровых данных о почвах, аккумулированных в Министерстве сельского хозяйства США [12]. Интерполированные растры значений величин Сорг, pH, содержания частиц < 0,01 мм и показателя SQ были получены в ПО ArcGIS 10.5 с помощью метода обратного взвешенного расстояния (ОВР).

Результаты исследований и их обсуждение

Профиль целинных чернозёмов лесостепной зоны отражает закономерное ослабление потенциала почвообразования с глубиной, что подтверждают основные показатели физико-химических свойств отдельных горизонтов (табл. 1). Наиболее резко с глубиной (относительно свойств гор. А) уменьшается содержание ПОВ и подвижного фосфора, а также емкость поглощения. Горизонт А целинных чернозёмов лесостепной зоны характеризуется очень темно-серой окраской (10 YR 3/1) в сухом состоянии почвы и черной (10 YR 2/1) во влажном состоянии, которая определяется высоким содержанием гумуса.

Таблица 1 - Физико-химические свойства чернозема типичного (заповедный участок «Ямская степь», Губкинский район)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.23.1>

Горизонты почвы	Глубина, см	ПОВ, %	Сумма поглощенных оснований, ммоль / 100 г почвы	H_g , ммоль / 100 г почвы	P_2O_5 , ммоль / 100 г почвы	K_2O , ммоль / 100 г почвы	Физическая глина (частицы < 0,01 мм), %
А _д	0-10	—	—	—	—	—	—
А	20-30	10,5	37,5	2,4	9,2	15,3	59,0
АВ	60-70	4,3	31,4	1,5	5,4	13,1	59,5
В _к	100-110	1,7	26,5	К	3,6	12,9	60,1
C1	140-150	0,4	18,3	К	2,1	11,8	61,4

Примечание: H_g – Гидролитическая кислотность

Эталонная почва луговой степи — чернозем типичный мощный тучный на лессовидном суглинке был описан в границах заповедного участка «Ямская степь». Близость к заповедному участку железорудного производства КМА стимулировала регулярный мониторинг почв с целью прогноза негативных изменений, обусловленный аэральным переносом загрязнителей. Очевидно, что наиболее важным объектом такого мониторинга выступает самый верхний слой почвенно-растительного покрова. Проведенные в июле 2025 г. исследования опирались на данные из трех опорных почвенных разрезов (табл. 2). От узкого водораздела (разр. 294) с абсолютными высотами 218-219 м были заложены два разреза на приводораздельных пологих разноэкспонированных склонах (разр. 292 и 295 на расстоянии от водораздела 503 м и 490 м соответственно). Почвы разр. 292 и 294 сходные — черноземы миграционно-мицеллярные мощные среднекарбонатные, в разр. 295 — черноземы темногумусовые мощные глубококарбонатные. Почвенная прикопка (разр. 292-1), позволившая выделить подгоризонты в гумусово-аккумулятивном горизонте (гор. А), и по соседству скважина (разр. 292-2) с послойным отбором на всю мощность гор. А, характеризовали кустарниковую разнотравно-луговую степь, под которой сформировались черноземы типичные мощные, по гумусированности переходные от среднегумусных к тучным. В гумусово-аккумулятивном горизонте целинной почвы содержание валовых форм азота постепенно уменьшается с глубиной (табл. 2), что находит свое отражение в закономерном переходе от низкой градации обогащённости гумуса азотом по соотношению C:N (11–14) до очень низкой (>14). Содержание подвижных форм гумуса достигает максимальных величин в зоне активной трансформации растительного вещества (до 15–18 см), а в более глубоких слоях закономерно снижается, что соразмерно отражается и в профильном изменении содержания углерода в лабильном гумусе.

Таблица 2 - Органическое вещество и его качество у целинных почв заповедного участка «Ямская степь» (по данным 2025 г.)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.23.2>

№ разреза	Горизонт	Слой, см	Цвет почвы (Munsell, dry)	ПОВ, %	N вал, %	C / N	ЛГ, %	Слг, %
292-1	А _д	0-6	10 YR 3/1	7,28	0,38	11	7,17	4,16
292-1	А'	6-15,5	10 YR 3/1.5	9,10	0,36	15	4,92	2,86

№ разреза	Горизонт	Слой, см	Цвет почвы (Munsell, dry)	ПОВ, %	N вал, %	C / N	ЛГ, %	Слг, %
292-1	A"	17-26	10 YR 3/1	7,38	0,27	16	3,08	1,79
292-2	A'	0-18	10 YR 2/2	8,42	0,40	12	7,51	4,36
292-2	A"	18-39	10 YR 3/1	6,60	0,27	14	3,47	2,01
292-2	A"	39-45	10 YR 3/2	4,52	0,15	17	1,66	0,96
294	A'	0-15	10 YR 2/1.5	8,37	0,34	14	4,86	2,82
295	A'	0-15	10 YR 2/1	9,45	0,58	9	7,77	4,51

Примечание: ЛГ – Лабильный гумус, Слг – содержание углерода в лабильном гумусе.

Анализ данных табл. 3 показывает, что дерновинный горизонт по сравнению с нижележащим слоем (гор. А) в разр. 292-1 характеризуется более высокой аккумуляцией Со и As (в 1,3 и 1,1 раза соответственно), но при этом он более обеднен ассоциацией из шести ТМ, которые формируют следующий ранжированный возрастающий ряд: Pb > (Cu, Cr, Ba) > (Ni, V). Верхняя часть горизонта А в разр. 292-2 характеризуется существенным обогащением по сравнению с нижней частью этого горизонта такими ТММ, как Со и Pb, а также Fe и Mn. Определённую тенденцию профильной миграции ТМ можно диагностировать, если сравнить концентрации элементов в слое 18–38 см (разр. 292-2) со средними величинами по трем слоям, охватывающих меньшую толщину почвы (0–26 см в разр. 292-1). С глубиной отмечается рост содержания As (в 1,3 раза), а также Ni, Cu, Zn (в 1,1 раза). Несмотря на близость почв заповедной степи к железорудному производству, в них отмечена слабая вариативность содержания оксидов железа и марганца.

Таблица 3 - Геохимические показатели целинных почв заповедного участка Ямская степь (данные 2025 г.)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.23.3>

Элемент (оксид)	292-1	292-1	292-1	292-1	292-2	292-2	292-2
	0-6	6-15,5	17-26	0-26	0-18	18-38	38-45
оксид Fe, %	4,4	4,4	4,2	4,3	4,4	4,1	4,4
оксид Mn, %	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,08	0,08
V, мг/кг	85,8	100,3	96,3	94,1	97,9	98,5	104,1
Cr, мг/кг	58,2	77,0	75,7	70,3	72,7	65,3	83,3
Co, мг/кг	11,8	8,8	11,2	10,6	12,0	8,5	11,3
Ni, мг/кг	34,3	39,7	37,9	37,3	40,1	41,9	42,6
Cu, мг/кг	26,4	31,9	30,9	29,8	33,1	32,8	35,4
Zn, мг/кг	58,4	58,6	56,6	57,9	61,7	61,0	57,8
As, мг/кг	16,9	15,0	17,2	16,3	17,3	20,6	21,0
Sr, мг/кг	94,1	95,6	95,7	95,1	95,5	94,9	94,5
Ba, мг/кг	379,8	449,5	428,8	419,4	451,5	435,0	453,3
Pb, мг/кг	11,0	16,6	6,9	11,5	10,8	8,3	3,7

Первоначально в качестве регионального почвенного стандарта предполагалось использовать данные по чернозему из заповедного участка «Ямская степь». Однако, исходя из результатов сравнительного анализа объектов в табл. 4, данные по почвам Ямской степи, расположенной вблизи отвалов Лебединского ГОКа, не были включены в обоснование величин РГФ, так как по всем четырем ТМ отмечено некоторое превышение фоновых значений для регионов вне влияния железорудного производства (участок «Лес на Ворскле», целина на бровках балок и речных долин) (рис. 1): при близкой величине концентрации кадмия (0,36 мг/кг), содержание цинка больше РГФ на 13, меди на 5,3, свинца на 4,5 мг/кг. Содержание Fe_2O_3 (по Тамму) в почве ЗУ «Ямская степь» составляет $0,27 \pm 0,07\%$; V=83% (n=12) (для сравнения в почве ЗУ «Лес на Ворскле» — 0,21%), тогда как в почвах техногенных ландшафтов КМА диапазон концентраций оксида железа находится в пределах от 0,2 до 3,7 % (с максимумом до 5,7%).

Исследования в почвах ЗУ «Ямская степь» подвижных форм металлов при $\text{pH}=4,8$ [13] показали, что в верхнем горизонте черноземов содержание кадмия в среднем (n=23) составляло 0,17 мг/кг (с максимумом до 0,49 мг/кг), а железа 4,24 мг/кг (с максимумом до 8,0 мг/кг). Эти данные свидетельствуют об определённой степени аэротехногенного загрязнения верхнего горизонта почв заповедной степи.

Таблица 4 - Почвенно-генетические особенности антропогенно неизмененных почв

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.23.4>

Местоположение или заповедные участки (ЗУ)	Координаты (широта)	Координаты (долгота)	Слой, см	ОВ, %	Cd, мг/кг	Pb, мг/кг	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг
ЗУ «Стрелецкая степь»	51°33.948 1'	36°5.0047'	0-15	4,8	0,30	11,24	10,20	41,87
ЗУ «Лес на Ворскле»	50°37.613 6'	35°59.110 7'	0-20	3,6	0,35	10,45	3,85	26,65
Скифское городище	50°38.183 1'	36°0.7560'	[0-21]	1,1	0,33	2,40	3,60	19,73
Бровка долины р. Ворскла	50°36.480 6'	35°59.818 7'	0-23	4,6	0,37	4,92	5,17	25,37
Бровка балочного склона	50°39.619 2'	36°19.675 2'	0-20	4,9	0,36	9,89	9,89	35,60
Фоновые значения	–	–	–	–	0,35	10	9	32
Ямская степь, 2006 г. [14]	51°10.787 2'	37°38.857 1'	0-10	13,03	0,36	14,2	14,3	45,0
Там же	Там же	Там же	10-20	10,1	0,35	14,5	14,3	44,7
Ямская степь, 2021-2024 гг., n=12 [15]	Там же	Там же	0-20	–	–	18,0	17,4	56,9
Губкинский заказник [16]	51°14'	37°28'	0-20	–	0,5	11,0	45,0	52,0

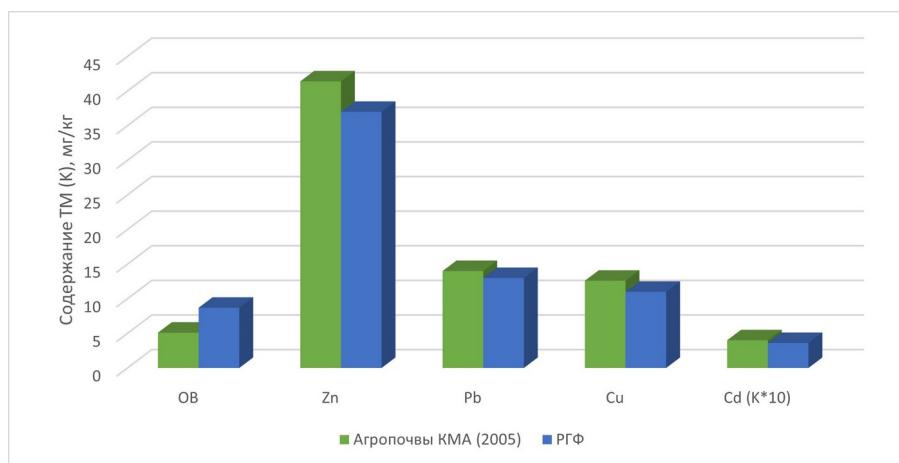


Рисунок 1 - Соотношение содержания органического вещества (OB) и группы тяжелых металлов в пахотных почвах Старооскольско-Губкинского горнопромышленного района и в целинных почвах (РГФ)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.23.5>

Территориальное распределение содержания в почве гумуса (органического вещества (ОВ)), которое продемонстрировано на рис. 2, обобщено представлена в виде гистограммы (рис. 3). По массиву эмпирических данных среднее арифметическое содержание ПОВ в районе исследования составило ($x \pm t_{0.05}S_x$) = $5,05 \pm 0,14$ % при величине коэффициента вариации (V) равном 26%. За счет почвенного разнообразия территории изучения получены данные, которые корреспондируются с оценками гумусированности почв для всего региона. Так, по последним данным [17], установлено, что благодаря внедряемой в Белгородской области программе по воспроизводству в агропочвах органического вещества средневзвешенное его содержание достигло к 2022 г. величины 5,3%.

Однако, при этом, опираясь на данные зонального эталона (табл. 2), общая оценка дегумусирования пахотных почв достигла 56–60%. Отрицательная асимметрия эмпирической кривой распределения ($As = -0,22$) обусловлена тем, что число вариантов находится слева от моды (5,5%), а некоторая двухвершинность кривой отражается в величине эксцесса ($Ex = 0,03$) и при этом большинство значений признака группируется возле средней арифметической (5,05%). Разнородность выборки (наличие области гистограммы с величинами содержания ПОВ < 3,5%) обусловлена тем, что левобережная часть долины р. Оскол в границах Старооскольского района отличается распространением занdroвого типа местности и надпойменной боровой террасы с почвами легкого гранулометрического состава (супесчаного и песчаного), которые по обобщенным данным в среднем содержат ПОВ $2,81 \pm 0,19$ %. Примечательно, что по СанПиН 1.2.3685-21 величины ПДК/ОДК (мг/кг) с учетом фона (кларка) детализируются применительно к песчаным и супесчанным почвам и различающимся по кислотности.

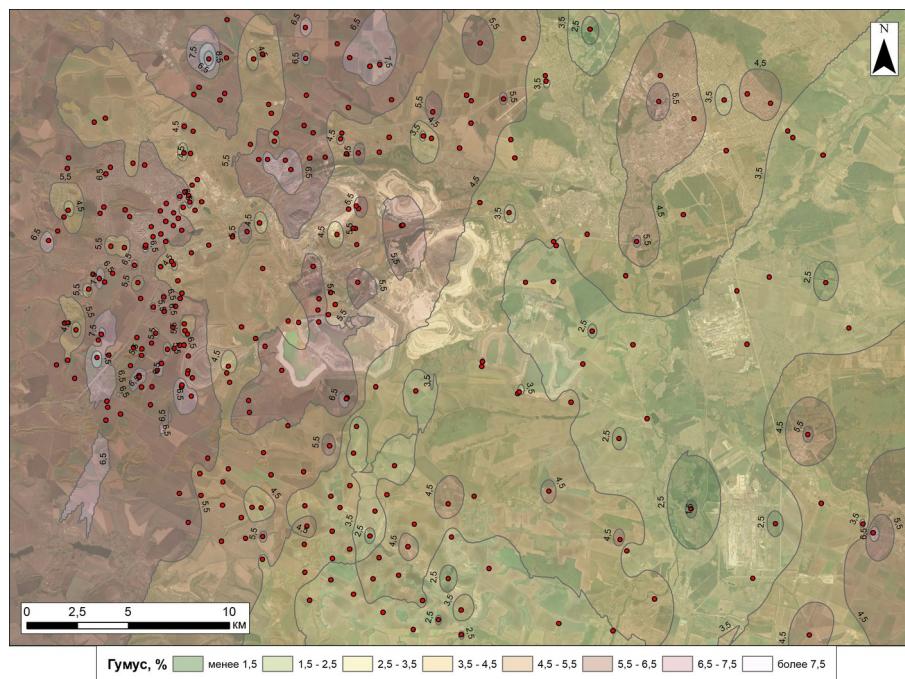


Рисунок 2 - Распределение содержания органического вещества (гумуса) на землях в зоне влияния
Старооскольско-Губкинского промышленного района

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.23.6>

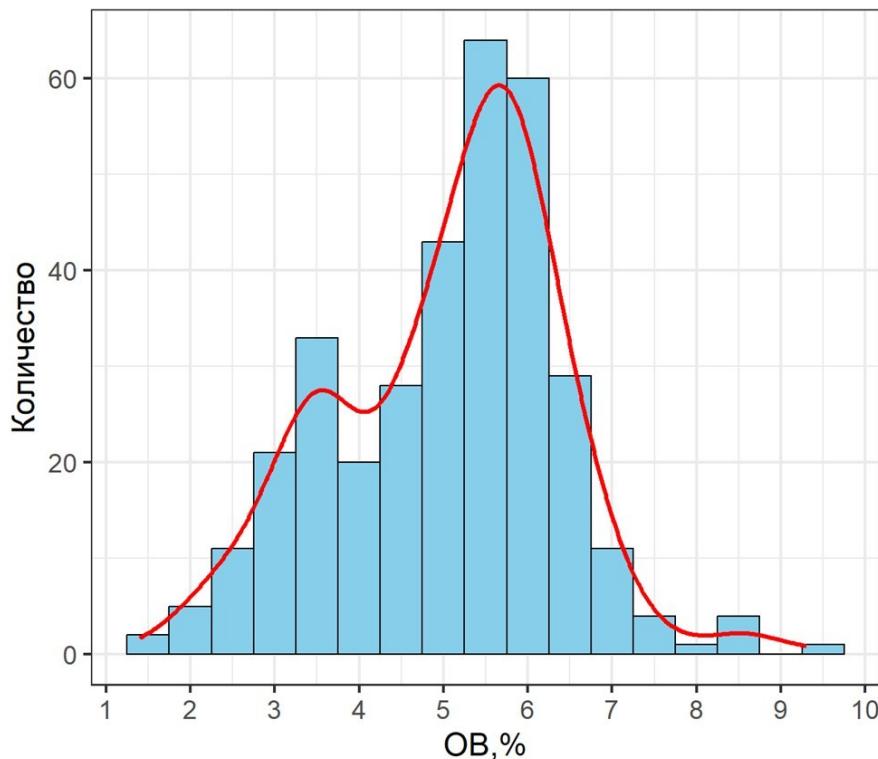


Рисунок 3 - Гистограмма распределения органического вещества по количеству вариантов (n=337)
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.23.7>

Роль почвенного органическое вещество в инактивации поллютантов трудно переоценить. Механизмы закрепления в почве определённой ассоциации микроэлементов (тяжелых металлов) во многом обусловлены насыщенностью минеральной матрицы почв органическим веществом, так как растительные остатки (поверхностный опад и корни), а также плазма микроорганизмов содержат значительное количество этих микроэлементов. Буферность почв по своей сути является интегративным показателем, так как она выражается в способности почвенной системы аккумулировать поллютанты, удерживать их в составе почвенного поглощающего комплекса (ППК) и ограничивать их поступление в почвенный раствор. При этом эффективность буферности почв во много определяется количеством и качеством органического вещества, гранулометрическим составом, а также кислотностью почв, степенью насыщенности ППК основаниями и другими факторами [18]. Исходные данные, привлеченные для установления особенностей территориального распределения буферности почв, включали содержание органического углерода, величины pH и долю физической глины (ФГ) (табл. 5).

Таблица 5 - Статистические параметры ключевых показателей агропочв Старооскольско-Губкинского промышленного района

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.23.8>

Характеристики	Сорг., %	pH (водн.)	Доля ФГ (<0,01 мм), %
Среднее	2,91	6,4	56,22
Стандартное отклонение	0,78	0,76	7,71
Медиана	3,07	6,8	58
MAD	0,69	0,49	0
Мин.	0,81	4,04	23
Макс.	5,38	7,42	58
Размах	4,57	3,38	35
Асимметрия	-0,16	-0,77	-4,06
Эксцесс	-0,06	-0,68	14,57
IQR	1,1	1,28	0
Q25	2,32	5,75	58
Q75	3,42	7,03	58

Примечание: *MAD* – абсолютное отклонение от медианы; *IQR* — межквартильный размах; *Q25* — 25-ый процентиль; *Q75* — 75-ый процентиль

При загрязнении почв ТМ наиболее значительно на буферность почв влияет сорбционный фактор, который обусловлен гумусированностью почвы, ее гранулометрическим составом и емкостью катионного обмена, но при этом важно учитывать и кислотно-щелочной фактор, определяемый гидролитической кислотностью и величиной pH почвы. Используя непреобразованные данные величин pH и доли частиц < 0,01 мм, с использованием пакета *relaimpo* [19] был определён в R их вклад в содержание Сорг (рис. 4А). Величины pH определяют 12,35% дисперсии величин Сорг, тогда как представление в анализе оцифрованных качественных градаций гранулометрического состава сильно снизило оценку его вклада в величину дисперсии значений Сорг. При рассмотрении территориальных закономерностей распределения величин pH (рис. 4В) следует учитывать, что помимо природной разнородности почв региона (левобережное Приосколье в XVI в. было занято нагорными дубравами на серых лесных почвах), на подкисление почв оказывает влияние выпадение кислотных (pH = 3–4) атмосферных осадков вокруг промышленных центров [20].

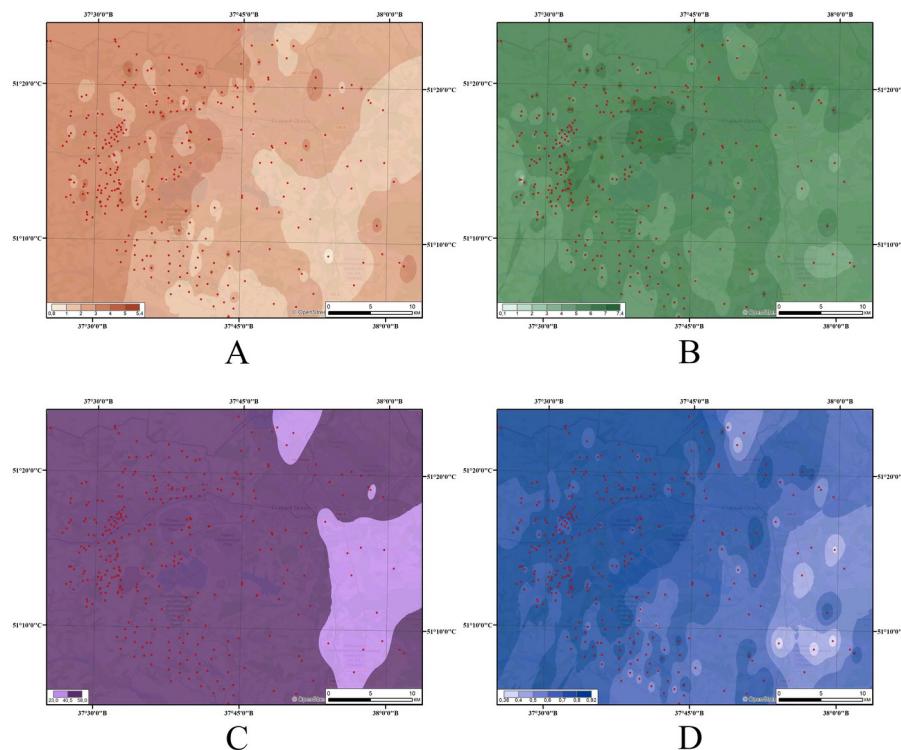


Рисунок 4 - Интерполированные величины почвенных показателей в зоне влияния Старооскольско-Губкинского промышленного района КМА

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.23.9>

Примечание: А) Сорг, %; В) pH; С) содержание частиц < 0,01 мм, %; Д) качества почв SQ

Варьирование почвенных показателей в зоне влияния Старооскольско-Губкинского промышленного района обусловлено, прежде всего, природным разнообразием почвенного покрова. Следует отметить, что почвенный покров на основной территории исследования сформирован преимущественно на лессовидных суглинках и глинах тяжело- и среднесуглинистого состава, которые в целом в регионе занимают 81% площади.

Наиболее значительные различия наблюдаются между правобережной частью бассейна р. Оскол, где почвы чернозёмного ряда имеют преимущественно суглинистый и глинистый гранулометрический состав, и левобережной частью, представленной, в основном супесчаными почвами. Доля площадей земель, для которых получены наибольшие величины нормированного качества почв ($SQ = 0,70\text{--}0,92$), составляет 63% от общей площади района исследования и это в основном правобережная часть бассейна р. Оскол. Как показывает сравнение рис. 4С и рис. 4Д, наиболее низкие величины нормированного качества почв ($SQ < 0,5$) обусловлены преимущественно пониженным содержанием частиц < 0,01 мм.

Для земель, расположенных на левобережье Поосколья, наблюдается наибольшая контрастность величин коэффициента радиальной дифференциации (K_p), что характеризует различия в интенсивности процессов миграции, аккумуляции и рассеивания химических элементов по профилю. В частности, для почв песчаного и супесчаного гранулометрического состава с невысоким потенциалом почвенно-поглощающего комплекса и промывным водным режимом характерна миграция тяжелых металлов в глубокие горизонты почв ($K_p < 1$). Кроме того, почвы с содержанием частиц < 0,01 мм не более 20% по обобщенным данным в среднем содержат ПОВ в два раза меньше, чем

на правобережье Поосколья, что в целом сильно ограничивает буферную способность почв, препятствуя эффективной инактивации тяжелых металлов аэротехногенного происхождения.

Заключение

Результатами ГИС-картирования установлены значительные различия буферной способности почв, где распространены среднесуглинистые и тяжелосуглинистые разновидности почв, у которых среднее содержание органического вещества в два раза превышает гумусированность почв легкого гранулометрического состава (супесчаного и песчаного) на левобережье Поосколья. Зоны воздействия таких промышленных предприятий, как Лебединский и Стойленский ГОКи, комбинат КМА-руды распространяются на земли с наибольшими величинами нормированного качества почв (0,70–0,92), отличающимися относительно высокой буферной способностью почв, что позволяет прогнозировать дальнейшую аккумуляцию тяжелых металлов и расширение ореола устойчивого загрязнения почв.

На левобережной части бассейна р. Оскол, где расположен Оскольский электрометаллургический комбинат и доминируют почвы невысокой буферной способности (супесчаного гранулометрического состава с менее эффективным почвенно-поглощающим комплексом) и промывным водным режимом, происходит вертикальная миграция тяжелых металлов в толще почво-грунтов, что может привести к загрязнению незащищенных горизонтов подземных вод. Региональный почвенный эталон — заповедный участок «Ямская степь», сохраняя обусловленный биоклиматическим потенциалом стандарт по основным физико-химическим свойствам, в эколого-геохимическом отношении утратил свой эталонный статус из-за аэротехногенного загрязнения гумусово-аккумулятивного горизонта почв (преимущественно цинком, медью и свинцом).

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00169, <https://rscf.ru/project/23-17-00169>.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

This work was funded by the Russian Science Foundation, project No. 23-17-00169, <https://rscf.ru/en/project/23-17-00169>.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Tagiverdiev S.S. Transformation of chernozem physical properties under urbopedogenesis conditions / S.S. Tagiverdiev, S.N. Gorbov, O.S. Bezuglova [et al.] // Urbanization: a challenge and an opportunity for soil functions and ecosystem services. — Moscow, 2017. — P. 456–458.
2. Самофалова И.А. Диагностика эродированности почв с использованием современных подходов к интерпретации параметров гранулометрического состава / И.А. Самофалова // Земледелие. — 2020. — № 1. — С. 14–19. — DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10104.
3. Медведев В.В. Гранулометрический состав почв Украины (генетический, экологический и агрономический аспекты) / В.В. Медведев, Т.Н. Лактионова. — Харьков : Апостроф, 2011. — 292 с.
4. Liu D. «Super-stable» interlayer organic carbon in soil clay minerals and its impact on soil carbon sequestration / D. Liu, C. Huang, K. Xiao [et al.] // Science China Earth Sciences. — 2024. — № 67. — DOI: 10.1007/s11430-024-1428-9.
5. Балсанова Л.Д. Содержание тяжелых металлов в залежных почвах с различным типом землепользования (окрестности г. Улан-Удэ) / Л.Д. Балсанова, Б.Б. Найданов // Вопросы степеведения. — 2025. — № 2. — С. 47–54. — DOI: 10.24412/2712-8628-2025-2-47-54.
6. Булыгин С.Ю. Формирование агрегатного состава почв и оценка его изменения / С. Ю. Булыгин, Ф. Н. Лисецкий // Почтоведение. — 1996. — № 6. — С. 783–788.
7. Лисецкий Ф.Н. Особенности агрофизического состояния постагрогенных почв Керченского полуострова / Ф.Н. Лисецкий, Е.Я. Зеленская, А.О. Полетаев // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия : сборник докладов XV Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов им. В.В. Докучаева», Курск, 28–29 мая 2020 г. — Курск, 2020. — С. 216–221.
8. Лисецкий Ф.Н. Разработка почвенно-географического районирования территории Белгородской области комплексными методами / Ф.Н. Лисецкий, С.В. Кравцов // Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты : материалы Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 01–03 марта 2007 года. — Санкт-Петербург : Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 2007. — С. 266–270.
9. Бударина В.А. Эколо-геохимические особенности почв и грунтов зоны аэрации территорий сельских поселений районов воздействия крупных горнодобывающих комплексов / В.А. Бударина, И.М. Игнатенко, И.И. Косинова // Горный журнал. — 2024. — № 11. — С. 103–108. — DOI: 10.17580/gzh.2024.11.16.
10. Самофалова И.А. Агропочвоведение : учебное пособие / И.А. Самофалова, Е.С. Лобанова. — Пермь : ПГАТУ, 2025. — 168 с.
11. Munsell A.H. Munsell soil color charts / A.H. Munsell. — Gretag Macbeth : New Windsor, N.Y., 2000.

12. O'Geen A.T. A revised Storie index for use with digital soils information. / A.T. O'Geen, S.B. Southard, R.J. Southard. — UCANR Publications, 2008. — 11 p.
13. Касаткина Г.А. Почвы и почвенный покров заповедника "Белогорье" / Г.А. Касаткина, Н.Н. Федорова, А.В. Русаков // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. — 2012. — № 1. — С. 121–138
14. Соловиченко В.Д. Красная книга почв Белгородской области / В.Д. Соловиченко, С.В. Лукин, Ф. Н. Лисецкий [и др.]. — Белгород : Изд-во БелГУ, 2007. — 139 с.
15. Полетаев А.О. Пространственное распределение тяжелых металлов и мышьяка в почвах вблизи горнопромышленных предприятий / А.О. Полетаев, И.С. Севрюков // Региональные геосистемы. — 2024. — Т. 48. — № 3. — С. 453–465. — DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-3-453-465.
16. Корнилов А.Г. Фоновые почвенно-геохимические исследования в Старооскольско-Губкинском горнопромышленном районе Курской магнитной аномалии / А.Г. Корнилов, Ю.Г. Чендер, М.В. Дорошенко // Успехи современного естествознания. Географические науки. — 2023. — 11. — С. 69–77. — DOI: 10.17513/use.38145.
17. Савченко Е.С. Управление режимом органического вещества почвы при биологизации земледелия / Е.С. Савченко, С.В. Лукин // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. — 2024. — № 6. — С. 61–65. — DOI: 10.31857/S2500208224060147.
18. Волошенко И.В. Предложения по совершенствованию перечня характеристик почв при проведении инженерно-экологических изысканий / И.В. Волошенко, Л.Л. Новых, Е.А. Новых // Региональные геосистемы. — 2022. — Т. 46. — № 1. — С. 132–142. — DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-132-142.
19. Groemping U. Relative importance for linear regression in R: the package relaimpo / U. Groemping // Journal of Statistical Software. — 2006. — Vol. 17. — № 1. — P. 1–27.
20. Lukin S.V. Monitoring of agroecological condition of arable soils of the Central Chernozem Region of Russia / S.V. Lukin // Eurasian Soil Science. — 2023. — № 4. — P. 67–77.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tagiverdiev S.S. Transformation of chernozem physical properties under urbopedogenesis conditions / S.S. Tagiverdiev, S.N. Gorbov, O.S. Bezuglova [et al.] // Urbanization: a challenge and an opportunity for soil functions and ecosystem services. — Moscow, 2017. — P. 456–458.
2. Samofalova I.A. Diagnostika erodirovannosti pochv s ispol'zovaniem sovremennoykh podkhodov k interpretatsii parametrov granulometricheskogo sostava [Diagnostics of Soil Erosion Using Modern Approaches to Interpreting Particle Size Distribution Parameters] / I.A. Samofalova // Zemledelie [Agriculture]. — 2020. — № 1. — P. 14–19. — DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10104. [in Russian]
3. Medvedev V.V. Granulometricheskiy sostav pochv Ukrayny (geneticheskiy, ekologicheskiy i agronomicheskiy aspekty) [Particle Size Distribution of Soils of Ukraine (Genetic, Ecological and Agronomic Aspects)] / V.V. Medvedev, T.N. Laktionova. — Kharkov : Apostrof, 2011. — 292 p. [in Russian]
4. Liu D. «Super-stable» interlayer organic carbon in soil clay minerals and its impact on soil carbon sequestration / D. Liu, C. Huang, K. Xiao [et al.] // Science China Earth Sciences. — 2024. — № 67. — DOI: 10.1007/s11430-024-1428-9.
5. Balsanova L.D. Soderzhanie tyazhelykh metallov v zalednykh pochvakh s razlichnym tipom zemlepol'zovaniya (okrestnosti g. Ulan-Ude) [Content of Heavy Metals in Fallow Soils with Different Land Use Types (Vicinity of Ulan-Ude)] / L.D. Balsanova, B.B. Naydanov // Voprosy stepovedeniya [Problems of Steppe Studies]. — 2025. — № 2. — P. 47–54. — DOI: 10.24412/2712-8628-2025-2-47-54. [in Russian]
6. Bulygin S.Yu. Formirovanie agregatnogo sostava pochv i otsenka ego izmeneniya [Formation of Soil Aggregate Composition and Assessment of Its Change] / S.Yu. Bulygin, F.N. Lisetskiy // Pochvovedenie [Soil Science]. — 1996. — № 6. — P. 783–788. [in Russian]
7. Lisetskiy F.N. Osobennosti agrofizicheskogo sostoyaniya postagrogenykh pochv Kerchenskogo poluostrova [Features of the Agrophysical State of Post-Agrogenic Soils of the Kerch Peninsula] / F.N. Lisetskiy, E.Ya. Zelenskaya, A.O. Poletaev // Aktual'nye problemy pochvovedeniya, ekologii i zemledeliya [Current Problems of Soil Science, Ecology and Agriculture] : Proceedings of the XV International Scientific-Practical Conference of the Kursk Branch of the International Public Organization "Dokuchaev Soil Science Society", Kursk, May 28–29, 2020. — Kursk, 2020. — P. 216–221. [in Russian]
8. Lisetskiy F.N. Razrabotka pochvenno-geograficheskogo raionirovaniya territorii Belgorodskoy oblasti kompleksnymi metodami [Development of Soil-Geographical Zoning of the Belgorod Region Territory by Complex Methods] / F.N. Lisetskiy, S.V. Kravtsov // Prostranstvenno-vremennaya organizatsiya pochvennogo pokrova: teorecheskie i prikladnye aspekty [Spatio-Temporal Organization of Soil Cover: Theoretical and Applied Aspects] : proceedings of the International Scientific Conference, Saint Petersburg, March 1–3, 2007. — Saint Petersburg : Publishing House of Saint Petersburg State University, 2007. — P. 266–270. [in Russian]
9. Budarina V.A. Ekologo-geokhimicheskie osobennosti pochv i gruntov zony aeratsii territoriy sel'skikh poseleniy raionov vozdeystviya krupnykh gornodobyvayushchikh kompleksov [Ecological and Geochemical Features of Soils and Vadose Zone Soils in Territories of Rural Settlements Impacted by Large Mining Complexes] / V.A. Budarina, I.M. Ignatenko, I.I. Kosinova // Gornyy zhurnal [Mining Journal]. — 2024. — № 11. — P. 103–108. — DOI: 10.17580/gzh.2024.11.16. [in Russian]
10. Samofalova I.A. Agropochvovedenie [Agrosoil Science] : A Textbook / I.A. Samofalova, E.S. Lobanova. — Perm : PSATU, 2025. — 168 p. [in Russian]
11. Munsell A.H. Munsell soil color charts / A.H. Munsell. — Gretag Macbeth : New Windsor, N.Y., 2000.
12. O'Geen A.T. A revised Storie index for use with digital soils information. / A.T. O'Geen, S.B. Southard, R.J. Southard. — UCANR Publications, 2008. — 11 p.

13. Kasatkina G.A. Pochvy i pochvennyy pokrov zapovednika "Belogor'e" [Soils and Soil Cover of the "Belogorye" Nature Reserve] / G.A. Kasatkina, N.N. Fedorova, A.V. Rusakov // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 3. Biologiya [Bulletin of Saint Petersburg University. Series 3. Biology]. — 2012. — № 1. — P. 121–138. [in Russian]
14. Solovichenko V.D. Krasnaya kniga pochv Belgorodskoy oblasti [Red Book of Soils of the Belgorod Region] / V.D. Solovichenko, S.V. Lukin, F.N. Lisetskiy [et al.]. — Belgorod : Publishing House BelSU, 2007. — 139 p. [in Russian]
15. Poletaev A.O. Prostranstvennoe raspredelenie tyazhelykh metallov i mysh'yaka v pochvakh vblizi gornopromyshlennykh predpriyatiy [Spatial Distribution of Heavy Metals and Arsenic in Soils Near Mining Enterprises] / A.O. Poletaev, I.S. Sevryukov // Regional'nye geosistemy [Regional Geosystems]. — 2024. — Vol. 48. — № 3. — P. 453–465. — DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-3-453-465. [in Russian]
16. Kornilov A.G. Fono-vye pochvenno-geokhimicheskie issledovaniya v Starooskol'sko-Gubkinskom gornopromyshlennom raione Kurskoy magnitnoy anomalii [Background Soil-Geochemical Studies in the Star Oskol-Gubkin Mining District of the Kursk Magnetic Anomaly] / A.G. Kornilov, Yu.G. Chendev, M.V. Doroshenko // Uspekhi sovremenennogo estestvoznaniya. Geograficheskie nauki [Advances in Current Natural Sciences. Geographical Sciences]. — 2023. — 11. — P. 69–77. — DOI: 10.17513/use.38145. [in Russian]
17. Savchenko E.S. Upravlenie rezhimom organicheskogo veshchestva pochvy pri biologizatsii zemledeliya [Management of Soil Organic Matter Regime under Agricultural Biologization] / E.S. Savchenko, S.V. Lukin // Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki [Bulletin of the Russian Agricultural Science]. — 2024. — № 6. — P. 61–65. — DOI: 10.31857/S2500208224060147. [in Russian]
18. Voloshenko I.V. Predlozheniya po sovershenstvovaniyu perechnya kharakteristik pochv pri provedenii inzhenerno-ekologicheskikh izyskaniy [Proposals for Improving the List of Soil Characteristics During Engineering and Environmental Surveys] / I.V. Voloshenko, L.L. Novykh, E.A. Novykh // Regional'nye geosistemy [Regional Geosystems]. — 2022. — Vol. 46. — № 1. — P. 132–142. — DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-132-142. [in Russian]
19. Groemping U. Relative importance for linear regression in R: the package relaimpo / U. Groemping // Journal of Statistical Software. — 2006. — Vol. 17. — № 1. — P. 1–27.
20. Lukin S.V. Monitoring of agroecological condition of arable soils of the Central Chernozem Region of Russia / S.V. Lukin // Eurasian Soil Science. — 2023. — № 4. — P. 67–77.