ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2026;(12):118-133
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 631.4 DOI: 10.25018/0236_1493_2026_12_0_118

ЗАГРЯЗНЕННЫЕ ПОЧВЫ ДЕГТЯРСКОГО МЕДНОГО РУДНИКА (СРЕДНИЙ УРАЛ)

Л.А. Стороженко[1,2], М.М. Шайхутдинова[1], М.С. Лебзин[1], А.А. Прокопьева[1], В.Б. Болтыров[1]

[1] Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия, e-mail: az_ma@mail.ru
[2] ООО «Гингео», Екатеринбург, Россия

Аннотация: На территории Дегтярского рудного поля выделено два типа почв: техногенные литоземы и природные почвы. Приведено послойное описание разреза техногенной почвы. В отличие от отвалов вмещающих пород, сформированных около горных выработок и загрязненных за счет разложившихся «местных» сульфидов in situ, литоземы, как вторично отсыпанные образования этих же минерализованных отвалов, загрязнены дополнительно ex situ протекающими по ним рудничными водами. В отдельных точках литоземов содержание кадмия превышает норматив в 100 раз, меди – 102 раза, цинка – 66 раз и свинца – 18 раз, а суммарные показатели загрязнения (Zc) соответствуют чрезвычайно высокой степени техногенного загрязнения нарушенных земель. Средний размер ущерба техноземам составил более 1 млрд 260 млн руб. Для восстановления нарушенных техногенных грунтов предложен метод, ориентированный на применение сорбционных материалов и концепцию экологичной утилизации промышленных отходов. При себестоимости сорбента-мелиоранта в 2400–2900 руб. за 1 т рекультивация 50 га литоземов и части загрязненных природных почв обойдется в 220 млн 650 тыс. руб. Это в шесть раз меньше экономического ущерба, нанесенного почвам в результате загрязнения токсикантами. После рекультивации на территории загрязненных почв должна появиться рекреационная лесопарковая зона для отдыха жителей города Дегтярска.

Ключевые слова: техногенная почва, литоземы, рекультивация, сорбент-ориентированный метод, рекреационная лесопарковая зона, загрязнение почвы, восстановление нарушенных земель, Дегтярское рудное поле.

Благодарность: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20033 и Договора № 8-26-ОГ от 27.03.2025 г. за счет средств областного бюджета на реализацию проекта, https://rscf.ru/project/24-17-20033/

Для цитирования: *Стороженко Л. А., Шайхутдинова М. М., Лебзин М. С., Прокопьева А. А., Болтыров В. Б.* Загрязненные почвы Дегтярского медного рудника (Средний Урал) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 12. – С. 118–133. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_12_0_118.

Contaminated soils of Degtyar copper mine (Middle Urals)

L.A. Storozhenko[1,2], M.M. Shaikhutdinova[1], M.S. Lebzin[1], A.A. Prokopeva[1], V.B. Boltyrov[1]

[1] Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia, e-mail: az_ma@mail.ru
[2] LLC «Gingeo», Yekaterinburg, Russia

© Л.А. Стороженко, М.М. Шайхутдинова, М.С. Лебзин, А.А. Прокопьева, В.Б. Болтыров. 2026.

Abstract: Degtyarsky copper mine worked from 1914 to 1995, developing the copper-pyrite deposit of the same name. After the cessation of mining operations and the suspension of drainage, there was a flooding of mine workings and the release of drainage acidic mine waters to the surface in the area of the Kolchedannaya mine quarry. These self-draining acidic mine waters have become a major source of chemical pollution of all environmental components, including the soil cover. Two types of soils have been identified on the territory of the Degtyarsky ore field: technogenic lithozems and natural soils. Lithozemes as bulk formations are common within the ore field from the discharge of drainage waters to latitude slightly north of the Severnaya mine. The article provides a layer-by-layer description of the section of technogenic soil. Unlike the dumps of the host rocks formed near the mine workings and polluted by decomposed "local" sulfides "in situ," lithozemes, as secondary filled formations of the same mineralized dumps, are additionally polluted "ex situ" by mine waters flowing through them. In some points of lithozems, the content of cadmium exceeds the standard by 100 times, copper – 102 times, zinc – 66 times and lead – 18 times, and the total pollution indicators (Zc) correspond to an extremely high degree of technogenic pollution of disturbed lands. The average amount of damage to technical land amounted to more than 1 billion 260 million rubles. For recreation of contaminated technogenic soils, a sorbent-oriented method based on the principles of «green utilization» of technogenic waste is proposed. With a cost of a meliorant sorbent of 2,400–2,900 rubles per 1 ton, recreation of 50 hectares of lithozems and part of contaminated natural soils will cost 220 million 650 thousand rubles. This is six times less than the economic damage caused to soils as a result of toxicant pollution. After recreation, a recreational forest park zone for recreation of residents of the city of Degtyarsk should appear on the territory of contaminated soils.

Key words: technogenic soil, lithozems, recultivation, sorbent-oriented method, recreational forest park area, soil contamination, restoration of disturbed lands, Degtyarskoye ore field.

Acknowledgements: The study was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 24-17-20033 and Agreement No. 8-26-OG of 27.03.2025 at the expense of the regional budget for the implementation of the project, https://rscf.ru/project/24-17-20033/.

For citation: Storozhenko L. A., Shaikhutdinova M. M., Lebzin M. S., Prokopeva A. A., Boltyrov V. B. Contaminated soils of Degtyar copper mine (Middle Urals). *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026;(12):118-133. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_12_0_118.

Введение

Дегтярское медноколчеданное месторождение разрабатывалось в период 1914–1994 гг. [1]. Добыча медных и медно-цинковых руд производилась комплексно открытыми и подземными горными работами с максимальной глубиной отработки 610 м. Дренажные воды в период работы Дегтярского рудника имели кислую реакцию (pH 2–3) и содержали большое количество растворенных металлов и взвешенных частиц.

В 1952 г. на р. Ельчевка по проекту НИИ «Уралпромедь» был построен пруд-отстойник, предназначенный для очистки от механических примесей, отстоя и осаждения гидратов металлов после нейтрализации кислых дренажных вод. В пруд также сбрасывались хозяйственно-бытовые стоки г. Дегтярска после их биологической очистки.

После прекращения добычных горных работ и остановки водоотлива произошло затопление горных выработок и

выход дренажных кислых шахтных вод на поверхность в районе карьера шахты «Колчеданной». Карьер имеет здесь наименьшие абсолютные отметки земной поверхности и является в настоящее время искусственным базисом дренирования.

Химический состав дренажных вод сформировался в результате интенсивного окисления сульфидных минералов и сернокислотного воздействия на окружающие породы и бедные руды. Эти воды классифицируются как сульфатные магниево-кальциево-железистые, отличаются высокой кислотностью (вплоть до ультракислых), имеют солоноватый привкус, а их общая минерализация колеблется от 3 до 8 г на литр при уровне pH в диапазоне 2,5 — 3,6.

При слиянии самоизлива кислых шахтных дренажных вод с р. Исток формируется единый поток, чья минерализация возрастает до 3,7 — 12,8 г/л, а показатель pH опускается до 2,3 — 3,3. Далее по течению р. Исток, в месте его слияния с рекой Дегтярка, располагается очистная станция нейтрализации, где объединенный сток — как речной, так и шахтный — обрабатывается известковым молоком, что позволяет поднять уровень кислотности до безопасных значений pH 6,5 — 8,5. После такой обработки смешанные техногенные воды направляются в р. Ельчевку, а оттуда — в Ельчевский пруд-отстойник. Из этого водоема вода затем сбрасывается в Волчихинское водохранилище, которое служит основным источником питьевого водоснабжения для Екатеринбурга.

Сильно минерализованные и обогащенные токсикантами тяжелых металлов кислые рудничные воды Дегтярского рудника являются основными источниками опасного техногенного загрязнения не только Волчихинского водохранилища, но и всех компонентов окружающей среды, включая и почвы, по которым они протекают. Дегтярское рудное поле имеет вытянутую с юга на север форму длиной более 3 км и шириной около 1 км и приурочено к наиболее пониженной части глубокой заболоченной межгорной депрессии (с абсолютными отметками 333 — 356 м), связанной с долиной левобережного притока р. Исток — р. Дегтярки, вытянутой в субмеридиональном направлении вдоль западного склона горы Лабаз.

Дегтярское рудное поле в значительной степени совмещено с городской застройкой, испещренной сетью улиц, автомобильных дорог и железнодорожных путей, дамб и многочисленных участков, засыпанных техногенными образованиями, в связи с чем природный почвенный покров в селитебной части рудного поля практически отсутствует.

Естественный природный почвенный покров в основном отмечается в северной, незастроенной части Дегтярского рудного поля, где он перемежается с участками антропогенных почв. И, наконец, выше северной границы рудного поля до Ельчевского пруда-отстойника и в восточной части долины р. Исток развиты природные почвы, в различной степени загрязненные токсикантами, протекающими по ним во время паводков техногенными водами (рис. 1).

Объектами исследования являются техногенные и природные почвы по долинам рек Исток (в его меридиональном течении), Дегтярка и Ельчевка до ее впадения в Ельчевский пруд-накопитель, а предметом изучения — загрязнения почв тяжелыми металлами и возможности их рекультивации (ремедиации).

Результаты

Техногенные почвы — литоземы Дегтярского рудного поля

«Продукты техногенеза в зависимости от их природы и той ландшафтной обстановки, в которую они попадают,

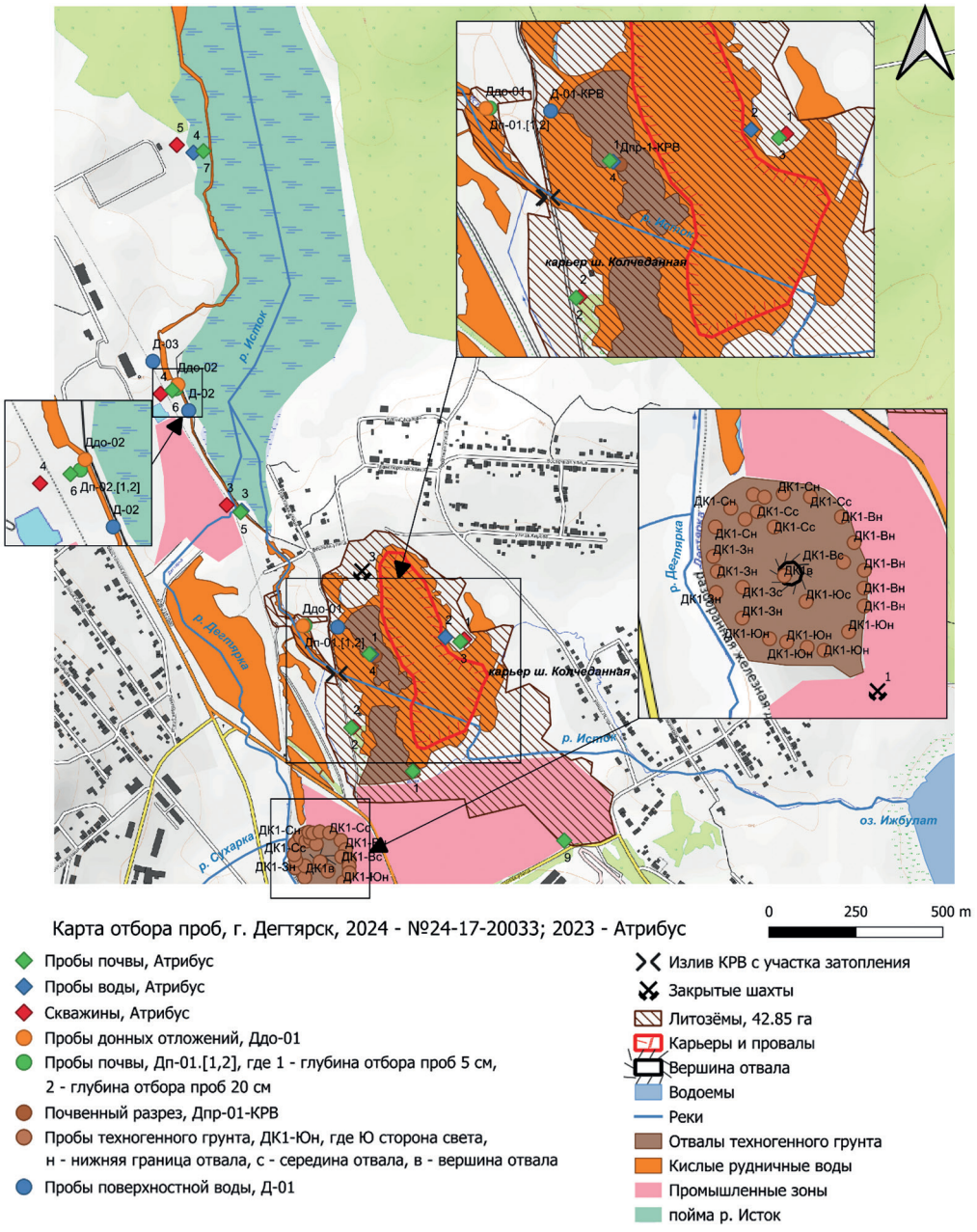


Рис. 1. Карта отбора проб, г. Дегтярск
Pic. 1. Sampling map, Degtyarsk

могут либо перерабатываться природными процессами и не вызывать существенных изменений в природе, либо сохраняться и накапливаться, губительно влияя на все живое» [2, с. 101].

К сожалению, среди специалистов в области почвоведения до сих пор не сложилось единого мнения относительно сущности техногенных почв, создаваемых человеком, и их точного определе-

ния. Изучение существующих подходов к терминологии «нового почвенного тела», формирующегося в результате техногенеза, показывает, что, с одной стороны, наблюдается разнобой в его наименовании, а с другой — отсутствует систематизация в практическом применении этих терминов [3]. Исследователи Л.В. Етеревская, М.Т. Донченко и Л. Лихциер придерживаются систематики и терминологии, предложенной в работе «Систематика и классификация техногенных почв» и базирующейся на эколого-генетическом подходе. Среди рекультивируемых антропогенных (или техногенных) почв выделяют два типа: 1) «техногенные почвы с насыпным гумусовым почвенным слоем — «технозем» (с двух-, трехчленным почвенным профилем)» [3, с. 18]; 2) «техногенные почвы из чистых горных пород или их смесей — «литоземы» с одночленным профилем» [3, с. 18].

Описываемые насыпные литоземы распространены в пределах Дегтярского рудного поля, начиная от места излива кислых шахтных вод у карьера шахты «Колчеданная» и севернее шахты «Северная». Ключевой особенностью литозема считается возникновение органического горизонта, представляющего собой компонент почвенного профиля, который размещается в верхнем слое или на самой поверхности и состоит из органических остатков, находящихся на различных стадиях трансформации, либо из гумуса, то есть измененного пласта, на котором впоследствии произошло формирование молодых березовых и сосновых насаждений. Сосна по мутовкам имеет возраст 15 — 20 лет. Березы покрыты лишайником, под деревьями присутствуют подстилка и мхи. Таким образом, литозем можно характеризовать как слабо развитую техногенную почву, состоящую из чистых горных пород или их смесей, содержащую органогенный или гумусовый горизонт различной природы, сформированный в мелкоземистой или щебенисто-мелкоземистой массе.

Авторами описан разрез литоземов в раскопке вблизи места самоизлива кислых шахтных вод. Определение гранулометрического состава производилось методом раскатывания шнура по методике А.Ф. Вадюниной и З.А. Корчагиной [4, 5].

Структура литозема комковатая и мелкокомковатая (оранжевый грунт), комковато-зернистая (темно-коричневые гумусовые затеки), порошисто-комковатая (желтая — оксиды железа).

Степень плотности грунта в сухом виде: 3 — рыхлое сложение — инструмент в виде лопаты или ножа легко входит в землю, у почвы отмечается отличная структура, но ее отдельные комки соединены между собой достаточно слабо; сюда относят супесчаные грунты, а также верхние, хорошо сформированные слои суглинистых пород; 4 — рассыпчатое сложение — материал отличается сыпучестью, его мелкие частицы не имеют сцепления друг с другом; это характерно для супесей, а также для пахотных горизонтов, которые не имеют структуры и распылены [6].

По методике [4] определили, что данный тип грунта относится к тяжелым суглинкам — шнур сворачивается в кольцо с трещинами.

Описание разреза техногенного литозема проводилось по стандартным методикам описания почвенного разреза (рис. 2).

Типы почвы 2 — пятнистая окраска (пятна попадаются регулярно, бросаются в глаза, размещаются с промежутком от 5 до 15 см между собой) [7].

Согласно данным, приведенным в работах [8, 9], устанавливаем следующие характеристики пятен: их обилие, размеры, контрастность и четкость границ.

• Обилие пятен: если их много, то они покрывают свыше 20% всей площади.

• По размеру пятен: крупными считаются те, чей диаметр превышает 15 мм.

• Контрастность пятен бывает двух видов: заметная, когда их окраска отличается от общего фона и они хорошо видны, а также выдающаяся, при которой пятна сразу притягивают взгляд и сильно выделяются по цвету на фоне.

• Четкость границ пятен: ясной считается такая граница, при которой переход от одного оттенка к другому происходит в пределах 2 мм.

Согласно таксономической классификации авторов [3] отвалы Дегтярского медно-колчеданного рудника можно описать следующим образом: класс — антропогенные почвы; ряд — рекультивируемые; тип — литоземы; подтип — лесные; род — отвальная смесь; вид — гидроморфные; подвид — мощные; разновидность — слабогумусированные; вариант — суглинистые.

В литературе не существует устоявшихся названий горизонтальных слоев (генетических горизонтов) литоземов, поскольку слои техногенных грунтов генетически не являются горизонтами, поэтому предлагается называть их слоями.

В табл. 1 представлен пример послойной характеристики разреза техногенного грунта.

По морфологическим признакам разрез техногенного грунта представлен следующим образом:

• на глубине от 0 до 10 см в окраске грунта встречаются желтые вкрапления, включающие оксиды железа (лимонит — $FeOOH \cdot (Fe_2O_3 \cdot nH_2O)$);

• на глубине от 10 до 47 см имеются темно-коричневые вкрапления — процессы гумусообразования, гумификации; определены как гумусовые затеки на стадии деградирования локальной растительности, встречаются отмершие корни



Рис. 2. Разрез техногенного грунта на р. Исток
Pic. 2. Man-made soil section on the Istok River

растений; также имеются желтые вкрапления, представленные в слое выше;

• на глубине от 47 до 74 см преобладают желтые пятна, описанные выше, помимо темно-коричневых вкраплений в окрасе слоя располагаются белые вкрапления, предположительно имеющие известковое происхождение;

• на глубине от 75 до 100 см встречаются мелкие желтые пятна — оксид железа Fe_2O_3, латеризация, оглиение, имеются вкрапления гумусового вещества.

В табл. 2 приведен химический состав техногенной почвы на глубинах 20, 50 и 100 см. Как видно из таблицы, никаких значимых различий в показателях содержания тяжелых металлов по вертикали не наблюдается, что естественно при насыпном характере почвенного покрова. Исключения составляют барий, железо и цинк. Концентрация данных элементов на глубине в 100 см превышает значения на глубине 20 см в 12,5; 8,7 и 2 раза соответственно.

В табл. 3 представлены данные о химическом составе техногенных грун-

Таблица 1

Послойная характеристика разреза техногенного грунта р. Исток в г. Дегтярск
Layer-by-layer characteristics of the section of technogenic soil of the Istok River in Degtyarsk

Слой	Границы горизонта, см	Характеристика (окраска, гранулометрический состав, структура, сложение, новообразования и включения, примечание)
1	0 — 10	оранжевый, тяжелосуглинистый, комковатый, рыхлый, встречаются корни растений, желтые порошисто-комковатые включения, переход заметный
2	10 — 46	неоднородный, от бурого до желтого, тяжелосуглинистый, комковатый, рыхлый, встречаются корни растений, процесс гумификации, переход постепенный
3	46 — 58	неоднородный, от бурого до желтого, тяжелосуглинистый, комковатый и мелкокомковатый, слабоуплотненный, включения с процессом гумификации, переход постепенный
4	58 — 74	неоднородный, от бурого до желтого, тяжелосуглинистый, мелкокомковатый, рыхлый, включения с процессом гумификации, включения извести, переход заметный
5	74 — 90	неоднородный, от бурого до оранжевого, тяжелосуглинистый, пластинчатый, рыхлый, включения с процессом гумификации, включения извести, переход заметный
6	90 — 100	однородный, светло-бурый, тяжелосуглинистый, мелкокомковатый, рыхлый, переход заметный

тов, сформированных на территории Дегтярского рудного поля. Поскольку указанные насыпные почвы образованы из отвальных масс, которые изначально включали в себя определенную долю тяжелых металлов (источник in situ), а также подверглись дополнительному загрязнению теми же элементами за счет рудничных вод, протекающих через них (источник ex situ), их состав характеризуется повышенным и неоднородным содержанием тяжелых металлов, превышающим показатели, зафиксированные в исходных породных отвалах.

Таблица 2

Химический состав почвенного покрова литоземов, г/т
Chemical composition of soil cover of lithozems, g/t

Определяемый показатель	Глубина отбора проб		
	20 см	50 см	100 см
Барий	40	426	501
Кадмий	46	50	44
Кобальт	39	36	38
Хром общий	71	81	80
Медь	627	651	531
Железо	14 830	119 002	128 684
Марганец	89	101	81
Молибден	46	46	47
Никель	45	39	32
Свинец	346	324	340
Цинк	64	66	127

Из табл. 2 и 3 также видно, что химическое загрязнение техногенных почв произошло неравномерно, причем загрязнение обусловлено в основном увеличением в определенных точках содержания кадмия (100 раз), меди (102 раза), цинка (66 раз), свинца (18 раз). При этом резко различаются в проанализированных пробах показатели степени химического загрязнения. Так, только в пробе 4ПП отмечается умеренно опасное загрязнение (Zc = 29,91), тогда как в пробах 2ПП, 5ПП и 6ПП зафиксированы высокоопасное загрязнение техно-

Таблица 3

Содержание химических элементов в техногенных почвах Дегтярского рудного поля, г/т
Content of chemical elements in technogenic soils of Degtyarsky ore field, g/t

№ п/п	№ проб	Глубина отбора, м	Химические элементы								Координаты точки отбора WGS–84
			Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	As	Hg	
1	2 ПП	0,05	5,9	992	25	297	1000	26	20	3,8	56°42'51.0"
2	2 ПП	0,2	3,6	976	26	312	1000	44	20	4,0	60°05'14.1"
3	4 ПП	0,05	0,49	577	10	20	405	20	19	0,12	56°42'57.9"
4	4 ПП	0,2	2,8	444	36	20	1000	10	9,9	0,25	60°05'16.9"
5	5 ПП	0,05	3,0	571	42	35	1000	13	20	0,54	56°43'10.8"
6	5 ПП	0,2	1,8	462	87	83	812	36	12	1,5	60°04'55.2"
7	6 ПП	0,05	2,4	399	27	20	1000	22	20	0,046	56°43'22.3"
8	6 ПП	0,2	3,5	627	39	20	1000	18	92	0,05	60°04'43.6"
9	ДП–01	0,05	20	2824	131	314	772	130	–	–	56°43'0"
10	ДП–01	0,2	21	2462	135	295	962	110	–	–	60°5'7"
11	ДП–02	0,05	50	3381	141	575	3669	111	–	–	56°43'22"
12	ДП–02	0,2	39	2820	111	478	2532	115	–	–	60°4'44"
	Нормативы		0,5	33	20	32	55	41	2	2,1	
Примечание: пробы 2 ПП, 4 ПП, 5 ПП и 6 ПП принадлежат ООО «Атрибус».											

генной почвы (Zc составляет соответственно 75,86; 48,24 и 40,59), а в точках опробования ДП — 01 (Zc = 154,13) и ДП — 02 (Zc = 291,8) отмечается чрезвычайно высокая степень техногенного загрязнения почвы тяжелыми металлами.

Наличие аналитического материала позволяет оценить не только характер и уровень химического загрязнения почвенного покрова, но и величину нанесенного ущерба. Согласно методам исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды [10, 11], размер ущерба рассчитывается по формуле

$$УЩ_{загр} = СЗ \times S \times K_{г} \times K_{исп} \times T_{х}, \quad (1)$$

где *СЗ* — величина, отражающая уровень загрязнения территории; *S* — площадь, на которой зафиксировано загрязнение (кв. м); $K_{г}$ — коэффициент, учитывающий глубину проникновения загрязняющих веществ (ЗВ) (табл. 4); $K_{исп}$ — коэффициент, учитывающий принадлежность земельного участка к определенной категории, а также вид допустимого использования; $T_{х}$ — ставка, применяемая при расчете суммы ущерба, руб/м^2.

Степень загрязнения (СЗ) от соотношения фактического содержания *i*-го ЗВ в почве и грунтах к нормативу качества окружающей среды (ОС) для почв и грунтов определяется по формуле

$$C = \sum_{i=1}^{n} \frac{X_i}{X_н}, \quad (2)$$

где X_i — фактическое содержание *i*-го ЗВ (мг/кг); $X_н$ — норматив качества ОС для почв (мг/кг).

При отсутствии установленного норматива качества ОС для почв [10, 11] и грунтов конкретного ЗВ в качестве значения $X_н$ применяется значение концентрации этого ЗВ на сопредельной территории аналогичного целевого назначения и вида использования, не испытывающей негативного воздействия от данного нарушения.

Если *C* = 1 или < 1, то *C* не включается в формулу. При увеличении *C* принимаются следующие значения (табл. 5).

Таблица 4

Показатели глубины загрязнения ($K_г$)
Contamination depth indicators ($K_г$)

до 20 см	$K_г = 1$
до 50 см	$K_г = 1,3$
до 100 см	$K_г = 1,5$
до 150 см	$K_г = 1,7$
до 200 см	$K_г = 2,0$
> 200 см	$K_г = 2,5$

Таблица 5

Значения СЗ при увеличении уровня загрязнения
DP (degree of pollution) values with increasing pollution level

$1 < C < 5$	$СЗ = 1,5$
$5 < C < 10$	$СЗ = 2,0$
$10 < C < 20$	$СЗ = 3,0$
$20 < C < 30$	$СЗ = 4,0$
$30 < C < 50$	$СЗ = 5,0$
$50 < C$	$СЗ = 6,0$

Таблица 6

Показатели, учитывающие категорию земель ($K_{исп}$)
Indicators considering the category of land (K_{isp})

Категория земель	Коэффициенты
Особо охраняемые земли	2,0
Земли водоохранных зон	1,8
Земли иных сельскохозяйственных угодий	1,6
Земли лесного фонда	1,5
Земли населенных пунктов	1,3
Земли остальных категорий	1,0

Таблица 7

Такса для исчисления размера вреда (T_x)
Dachshund for calculating the amount of harm (T_x)

Характеристика зоны	Такса, руб/м^2
Таежная зона	500
Зона хвойно-широколистных лесов	400
Степная зона	600

Таким образом, при исчислении вреда, нанесенного техногенным почвам на площади, приняты показатели, определяемые по табл. 4 — 7 и формулам (1), (2).

В табл. 8 приведены показатели степени загрязнения проб.

В табл. 9 приведены размеры ущерба, нанесенного техногенным почвам.

Средний размер ущерба составляет 1 млрд 262 млн 646 тыс. 67 руб.

Природные почвы окрестностей города Дегтярска

Природные почвы развиты в северной и восточной окрестностях г. Дегтярска и в охарактеризованной части приурочены к долинам рек Исток и Ельчевка (см. рис. 1). В северной части природные почвы находятся в административном отношении уже на территории Ревдинского городского округа.

По почвенно-географическому районированию Российской Федерации исследуемая территория расположена в пределах Среднеуральской горной провинции подзолистых и дерново-подзолистых, буротаежных и горных лесолуговых почв Европейско–Западно–Сибирской таежно-лесной почвенно-биоклиматической области.

В соответствии с почвенной картой Свердловской области, участок исследования расположен в зоне распространения буротаежных почв. Буротаежные грунты встречаются довольно часто в горных областях с влажным климатом, где под хвойными лесами средней тайги, состоящими из трав, кустарников и мхов, а также частично под южнотаежными лесными массивами они формируются на щебнисто-суглинистых породах, которые являются продуктами выветривания и перемещения (элювиально-делювиальных отложений).

Строение почвенного профиля в морфологическом плане выглядит следующим образом: О–АО–А–Bm–BC–C.

Разделение на горизонты у буротаежных почв выражено довольно слабо. Верхний слой, представленный рыхлой подстилкой О, имеет толщину около 5–10 см и состоит главным образом из листового опада, который еще не успел полностью разложиться. Под ним располагается грубогумусовый горизонт АО, который окрашен в серо-коричневые тона и включает в себя растительные остатки, находящиеся в стадии полураспада, а также некоторое количество минеральных включений. Следующий гумусовый слой А отличается небольшой мощностью — всего 5 — 10 см. Его цвет колеблется от темно-серого до буровато-серого, структура мелкокомковатая, и он очень плотно пронизан корневой системой растений. В нижней части этого горизонта иногда можно заметить признаки вымывания (элювиальных процессов). Далее идет структурно-метаморфический горизонт Bm, который имеет бурый цвет, отличается уплотненностью и характеризуется комковато-ореховатой текстурой. В отдельных случаях в нем могут присутствовать незначительные свидетельства накопления глины, например, в виде тонких матовых глинистых пленок или редких затеков. В переходном горизонте ВС, который граничит с материнской породой, наблюдается увеличение количества каменистых обломков (щебня), при этом структурность почвенной массы снижается. Общая толщина всего профиля, как правило, ограничивается 1 м.

В табл. 10 приведены содержания химических элементов в природных почвах окрестностей г. Дегтярска. Из таблицы видно, что на незагрязненных

Таблица 8

Показатели степени загрязнения
Contamination level indicators

№ проб	Глубина отбора, м	СЗ (общ)	СЗ
2 ПП	0,05	83,01734	6
2 ПП	0,2	78,98551	6
4 ПП	0,05	36,99843	5
4 ПП	0,2	44,97431	5
5 ПП	0,05	55,25281	6
5 ПП	0,2	46,89972	5
6 ПП	0,05	47,60622	5
6 ПП	0,2	51,81965	6
ДП–01	0,05	154,13	6
ДП–01	0,2	147,73	6
ДП–02	0,05	291,8	6
ДП–02	0,2	224,76	6

Таблица 9

Размер ущерба, нанесенного техногенным почвам
The amount of damage caused to technogenic soils

№ проб	$T_х$ такса	Площадь, S, м^2	$K_г$	$K_{исх}$	*СЗ*	Ущерб, тыс. руб.
2 ПП	400	428 500	1	1,3	6	1 336 920
2 ПП	400	428 500	1	1,3	6	1 336 920
4 ПП	400	428 500	1	1,3	5	1 114 100
4 ПП	400	428 500	1	1,3	5	1 114 100
5 ПП	400	428 500	1	1,3	6	1 336 920
5 ПП	400	428 500	1	1,3	5	1 114 100
6 ПП	400	428 500	1	1,3	5	1 114 100
6 ПП	400	428 500	1	1,3	6	1 336 920
ДП–01	400	428 500	1	1,3	6	1 336 920
ДП–01	400	428 500	1	1,3	6	1 336 920
ДП–02	400	428 500	1	1,3	6	1 336 920
ДП–02	400	428 500	1	1,3	6	1 336 920

Таблица 10

Содержание химических элементов в природных почвах окрестности г. Дегтярска
Content of chemical elements in natural soils near Degtyarsk

№ п/п	№ проб	Глубина отбора, м	Химические элементы								Координаты точки отбора, WGS–84
			Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	As	Hg	
1	1 ПП	0,05	0,31	38	43	20	68	31	12	0,044	56°42'46.8"
2	1 ПП	0,2	0,34	32	32	20	48	26	12	0,051	60°05'24.3"
3	3 ПП	0,05	0,3	91	10	61	64	10	20	0,31	56°42'59.1"
4	3 ПП	0,2	0,3	94	10	71	58	10	20	0,61	60°05'32.6"
5	7 ПП	0,05	0,51	42	19	20	43	10	7,8	0,056	56°43'44.4"
6	7 ПП	0,2	0,40	40	18	20	46	10	7,1	0,046	60°04'49.1"
7	8 ПП	0,05	0,99	167	16	51	82	12	20	0,15	56°46'21.6"
8	8 ПП	0,2	1,8	214	17	88	142	11	20	0,12	60°02'46.0"
9	9 ПП	0,05	0,37	470	20	20	116	60	20	0,11	56°42'40.4"
10	9 ПП	0,2	0,28	297	30	20	109	31	20	0,06	60°05'50.2"
11	ДП–03	0,05	47	2387	–	441	8014	513	–	–	56°44'21"
12	ДП–03	0,2	27	308	–	280	902	1194	–	–	60°4'33"
13	ДП–04	0,05	67	275	–	276	83	88	–	–	56°45'24"
14	ДП–04	0,2	13	110	–	271	58	114	–	–	60°3'23"
Нормативы			0,5	33	20	32	55	41	2	2,1	

Примечание: пробы 1 ПП, 3 ПП, 7 ПП, 8 ПП и 9 ПП принадлежат ООО «Атрибус».

участках содержания тяжелых металлов сопоставимы с нормативами или даже ниже их (пробы 1ПП, 3ПП, 7ПП). Появление более высоких содержаний тяжелых металлов в таких удаленных от горных выработок и насыпных грунтов местах (пробы 8ПП и 9ПП) объясняется загрязнением во время весенних паводков, а их очень высокие содержания в пробах ДП-03 и ДП-04 — нахождением точек отбора проб на пути постоянного протекания нейтрализованных кислых рудничных вод. Так, суммарный показатель загрязнения Zc в пробах ДП-03 на поверхности составляет 334,32 и ДП-04 Zc = 150,59. В то же время на глубине 20 см содержание тяжелых металлов снижается, а уровень загрязнения составляет, соответственно, Zc = 412,6 и 37,5.

Обсуждение результатов

Загрязнение почв тяжелыми металлами — интегральный показатель последствий деградации нарушенных земель на территории остановленных медных рудников. Для реабилитации загрязненных территорий в настоящее время существуют различные методы рекультивации нарушенных земель, как иностранных авторов [12—15], так и соотечественников [16]. В последнее время все большее распространение приобретает подход, связанный с применением сорбентов, который базируется на концепции экологически безопасного использования техногенных отходов, образующихся в результате производственной деятельности человека. Данный подход сформировался на базе ряда авторитетных научных работ, посвященных анализу перспектив вторичного использования промышленных отходов в роли адсорбентов и стабилизирующих агентов для ионов тяжелых металлов [17—20]. Как оказалось, большими потенциальными возможностями использования для рекультивации загрязненных почв обладают осадки водоподготовки городских

фильтрационных станций [21 — 25]. В частности, было установлено, что использование осадков водоподготовки, как самостоятельного сорбента, так и в сочетании с иными материалами (например, торфом, диатомитом или вермикулитом), позволяет достичь снижения концентрации тяжелых металлов на 50% и более.

Процесс создания сорбент-мелиоранта из торфа и осадков, образующихся при подготовке воды, состоит из следующих этапов: измельчение и дозировка компонентов, их формование в гранулы, упаковка готового продукта и последующая доставка.

В диссертационном исследовании [26] представлены результаты расчета финансовых издержек, необходимых для выпуска такого сорбент-мелиоранта. Эти расчеты продемонстрировали, что итоговая стоимость одной тонны готового продукта будет находиться в пределах от 2400 до 2900 руб. При этом на формирование конечной цены товара влияет множество факторов, включая сорт и свойства используемого торфа, а также конкретное соотношение торфяной массы и осадков водоподготовки в составе смеси. Кроме того, существенное воздействие оказывают общий уровень инфляции в стране и прочие экономические условия, которые могут меняться со временем.

В табл. 11 приведен расчет стоимости покрытия загрязненных почв сорбентом-мелиорантом.

На территории Дегтярского рудного поля предстоит рекультивировать не только территорию, занятую литоземами (42,85 га), но и участки, занятые загрязненными природными почвами. Таким образом, рекультивации сорбентами-мелиорантами необходимо подвергнуть примерно 50 га площади.

Исходя из табл. 11, можно рассчитать стоимость рекультивации 50 га загрязненных почв:

- стоимость травосмеси (многолетние бобовые травы — люцерна — 2 млн 250 тыс. руб.);
- потребное количество сорбентов-мелиорантов — 91 тыс. т;
- стоимость сорбентов-мелиорантов — 218 млн 400 тыс. руб.;
- общая стоимость травосмеси и сорбентов-мелиорантов составляет 220 млн 650 тыс. руб.

Таблица 11

Исходные данные для расчета стоимости рекультивации загрязненных почв
Input data for calculation of the cost of reclamation of contaminated soils

№ п/п	Наименование показателя	Сорбент-мелиорант	Единицы измерения	Значение
1	Площадь загрязненных почв	—	га	50
2	Насыпной слой сорбента-мелиоранта	торф — осадки водоподготовки	м	0,5
3	Средняя насыпная плотность сорбента-мелиоранта	пропорция торф — осадки водоподготовки, (масс.% — 20/80)	кг/м^2	364
4	Средняя себестоимость сорбента-мелиоранта	пропорция торф — осадки водоподготовки (масс. % — 20/80)	руб/т	2400
5	Средняя масса сорбента-мелиоранта	пропорция торф — осадки водоподготовки (масс. % — 20/80)	т/га	1820
6	Масса травосмеси (многолетние бобовые травы — люцерна)	—	кг/га	20
7	Средняя стоимость травосмеси	—	тыс. руб/га	45

Таким образом, общая стоимость рекультивации загрязненных почв Дегтярского медного рудника составит 220 млн 650 тыс. руб., что почти в шесть раз меньше нанесенного этим почвам экономического ущерба.

В конечном итоге на территории развития литоземов и загрязненных природных почв в северной части Дегтярского рудного поля должна появиться рекреационная лесопарковая зона для отдыха жителей г. Дегтярска.

Заключение

На территории Дегтярского рудного поля впервые выделены два типа почв: техногенные литоземы и в различной степени загрязненные природные почвы. Ключевой особенностью, выделяющей литоземы среди прочих типов почв, является формирование в них особого органического горизонта. Данный слой входит в структуру почвенного профиля и располагается либо непосредственно на дневной поверхности, либо в его верхней части. Содержимое этого горизонта представлено органическими соединениями, которые находятся на различных стадиях трансформации — от слабо разложившихся остатков до полностью гумифицированных форм.

Литоземы как насыпные образования распространены в пределах рудного поля от места излива дренажных вод до широты немного севернее шахты «Северная».

Для рекультивации загрязненных техногенных почв предложен сорбент-ориентированный метод. После рекультивации на территории загрязненных почв должна появиться рекреационная лесопарковая зона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рыбникова Л. С.*, *Рыбников П. А.*, *Наволокина В. Ю.* Оценка эффективности очистки кислых шахтных вод (на примере медноколчеданных рудников среднего Урала) // Записки Горного института. — 2024. — Т. 267. — С. 388—401.

2. *Ковалева Г. В.*, *Старожилов В. Т.*, *Дербенцева А. М.*, *Назаркина А. В.*, *Майорова Л. П.*, *Матвеенко Т. И.*, *Семаль В. А.*, *Морозова Г. Ю.* Почвы и техногенные поверхностные образования в городских ландшафтах. — Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2012. — 159 с.

3. *Королев В. А.*, *Галкин А. Н.* К разработке классификации эколого-геологических систем территории Белоруссии // Инженерная геология. — 2023. — Т. 18. — № 2. — С. 12—28. DOI: 10.25296/1993-5056-2023-18-2-12-28.

4. *Вадюнина А. Ф.*, *Корчагина З. А.* Методы исследования физических свойств почв и грунтов. — М.: Высшая школа, 1961. — 345 с.

5. *Конюшков Д. Е.*, *Ананко Т. В.*, *Герасимова М. И.*, *Савицкая Н. В.*, *Чуванов С. В.* Анализ почвенного покрова России по карте масштаба 1:2.5 млн с использованием новой классификации: отделы почв и их площади // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. — 2022. — № 112. — С. 73—121. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-73-121.

6. *Жамолова Л. Ю.*, *Мамедова М. Н.* Методы определения тяжелых металлов в составе почвы // Вестник науки и образования. — 2023. — № 6 (137). — С. 8—10.

7. *Ковалева Н. О.*, *Ковалев И. В.* Инженерное почвоведение и почвенноландшафтный инжиниринг: вызовы современности и перспективы развития // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. — 2023. — № 4. — С. 109—125. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-4-109-125.

8. *Богатырев Л. Г.*, *Погожев Е. Ю.*, *Кузнецов В. А.*, *Бенедиктова А. И.*, *Карпухин М. М.*, *Демин В. В.* О некоторых концепциях и принципах в почвоведении // Жизнь Земли. — 2025. — Т. 47. — № 3. — С. 336—347. DOI: 10.29003/m4739.0514-7468.2025_47_3/336-347.

9. *Старицына И. А.*, *Вашукевич Н. В.*, *Смирнова А. Д.*, *Старицына Н. А.* Проблемы почвенного образования // Аграрное образование и наука. — 2022. — № 4. — С. 14.

10. *Игнатьева И. А.* Значение решений конституционного суда Российской Федерации для развития правового регулирования возмещения вреда окружающей среде // Экологическое право. — 2025. — № 2. — С. 21—26. DOI: 10.18572/1812-3775-2025-2-21-26.

11. *Яценко М. В.*, *Яценко М. М.* Вопросы практического применения методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны // Экологический Вестник Северного Кавказа. — 2026. — Т. 22. — № 2. — С. 48—52.

12. *Sharma I., Sharma S., Sharma V., Singh A. K., Sharma A., Kumar A., Singh J., Sharma A.* PGPR-Enabled bioremediation of pesticide and heavy metal-contaminated soil: A review of recent advances and emerging challenges // Chemosphere. 2024, vol. 362, article 142678. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.142678.

13. *Kucher L., Krasnoshtan I., Nedilska U., Muliarchuk O., Manzii O., Menderetsky V., Boroday V., Beregniak E., Voitsekhivskyi V., Myronycheva O.* Heavy metals in soil and plants during revegetation of coal mine spoil tips and surrounded territories // Journal of Ecological Engineering. 2023, vol. 24, no. 7, pp. 234—245. DOI: 10.12911/22998993/164756.

14. *Fedorov S., Zavyalov S., Yurak V.* Ore minerals in technogenic wastes of the Levikhinsky mine (Middle Urals) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022, vol. 988, no. 3, article 032088. DOI: 10.1088/1755-1315/988/3/032088.

15. *Raffa C. M., Chiampo F., Shanthakumar S.* Remediation of metal/metalloid-polluted soils: A short review // Applied Sciences. 2021, vol. 11, article 4134. DOI: 10.3390/app11094134.

16. *Баруздин А. А.*, *Закревская Л. В.*, *Николаева К. А.* Композиционный материал на основе техногенных отходов // Эксперт: теория и практика. — 2023. — № 2(21). — С. 17—23. DOI: 10.51608/26867818_2023_2_17.

17. *Антонинова Н. Ю.*, *Собенин А. В.*, *Усманов А. И.* Систематизация данных об источниках поступления и экотоксикологическом воздействии Cu, Zn и Cd как основа для разработки природоохранных мероприятий // Известия Уральского государственного горного университета. — 2026. — № 2. — С. 80—91.

18. *Апакашев Р. А.*, *Гуман О. М.*, *Валиев Н. Г.* Рекультивация нарушенных земель с использованием техногенных осадков водоподготовки // Устойчивое развитие горных территорий. — 2020. — Т. 12. — № 2(44). — С. 229—236. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-2-229-236.

19. *Charazińska S., Lochyński P., Burszta-Adamiak E.* Recent trends in Ni(II) sorption from aqueous solutions us-ing natural materials // Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2022, vol. 21, pp. 105—138.

20. *Башкин В. Н.*, *Галиулина Р. А.* Ремедиация загрязненных тяжелыми металлами почв с использованием сорбционных технологий. Сообщение 1. Использование минеральных и органических сорбентов // Агрохимия. — 2025. — № 11. — С. 89—102. DOI: 10.7868/S3034496425110102.

21. *Finlay N. C.*, *Peacock C. L.*, *Hudson-Edwards K. A.*, *Johnson K. L.* Characteristics and mechanisms of Pb(II) sorption onto Fe-rich waste water treatment residue (WTR): A potential sustainable Pb immobilization technology for soils // Journal of Hazardous Materials. 2021, vol. 402, article 123433. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.123433.

22. *Likus M., Komorowska-Kaufman M., Pruss A., Marzec M., Bajda T.* Sorption properties of groundwater treatment residuals containing iron oxides // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2023, vol. 11, no. 5, article 110342. DOI: 10.1016/j.jece.2023.110342.

23. *Шатрова А. С.*, *Богданов А. В.*, *Тюкалова О. В.* Сорбция тяжелых металлов лигнинсодержащими осадками целлюлозно-бумажной промышленности // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2024. — Т. 335. — № 5. — С. 66—74. DOI: 10.18799/24131830/2024/5/4299.

24. *Буханов В. Д.*, *Зуев Н. П.*, *Тучков Н. С.* Получение композиционного сорбента на основе минерального и растительного углеродсодержащего сырья // Мичуринский агрономический вестник. — 2024. — № 3. — С. 45—53.

25. *Кабтул Х.*, *Глазунова И. В.* Условия использования сорбентов в локальных гидротехнических сооружениях на мелиоративных системах в жарком климате // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. — 2025. — Т. 97. — № 3. — С. 122—137.

26. *Лебзин М. С.* Обоснование технологии консервации породных отвалов сорбент-ориентированным методом: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины. — Екатеринбург: УГГУ, 2025. — 27 с. ГИАБ

REFERENCES

1. Rybnikova L. S., Rybnikov P. A., Navolokina V. Yu. Assessment of the efficiency of acidic mine water treatment (using the example of copper-pyrite mines in the Middle Urals). *Journal of Mining Institute*. 2024, vol. 267, pp. 388—401. [In Russ].

2. Kovaleva G. V., Starozhilov V. T., Derbentseva A. M., Nazarkina A. V., Mayorova L. P., Matveenko T. I., Semal' V. A., Morozova G. Yu. *Pochvy i tekhnogennye poverkhnostnye obrazovaniya v gorodskikh landshaftakh* [Soils and technogenic surface formations in urban landscapes], Vladivostok, Izd-vo Dal'nauka, 2012, 159 p.

3. Korolev V. A., Galkin A. N. Towards the development of a classification of geo-ecological systems in the territory of Belarus. *Engineering Geology*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 12—28. [In Russ]. DOI: 10.25296/1993-5056-2023-18-2-12-28.

4. Vadyunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv i gruntov* [Methods for investigating the physical properties of soils and grounds], Moscow, Vysshaya shkola, 1961, 345 p.

5. Konyushkov D. E., Ananko T. V., Gerasimova M. I., Savitskaya N. V., Chuvanov S. V. Analysis of the soil cover of Russia based on a 1:2.5 million scale map using a new classification: soil divisions and their areas. *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute*. 2022, no. 112, pp. 73—121. [In Russ]. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-73-121.

6. Zhamolova L. Yu., Mamedova M. N. Methods for determining heavy metals in soil composition. *Bulletin of Science and Education*. 2023, no. 6 (137), pp. 8—10. [In Russ].

7. Kovaleva N. O., Kovalev I. V. Engineering soil science and soil-landscape engineering: modern challenges and development prospects. *Moscow University Bulletin. Series 17: Soil Science*. 2023, no. 4, pp. 109—125. [In Russ]. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-4-109-125.

8. Bogatyrev L. G., Pogozhev E. Yu., Kuznetsov V. A., Benediktova A. I., Karpukhin M. M., Demin V. V. On certain concepts and principles in soil science. *Life of the Earth*. 2025, vol. 47, no. 3, pp. 336—347. [In Russ]. DOI: 10.29003/m4739.0514-7468.2025_47_3/336-347.

9. Staritsyna I. A., Vashukevich N. V., Smirnova A. D., Staritsyna N. A. Problems of soil formation. *Agrarian Education and Science*. 2022, no. 4, pp. 14. [In Russ].

10. Ignatyeva I. A. The significance of decisions by the Constitutional Court of the Russian Federation for the development of legal regulation regarding compensation for environmental damage. *Environmental Law*. 2025, no. 2, pp. 21—26. [In Russ]. DOI: 10.18572/1812-3775-2025-2-21-26.

11. Yatsenko M. V., Yatsenko M. M. Issues regarding the practical application of the methodology for calculating the extent of damage caused to soil as an object of environmental protection. *Ecological Bulletin of the North Caucasus*. 2026, vol. 22, no. 2, pp. 48—52. [In Russ].

12. Sharma I., Sharma S., Sharma V., Singh A. K., Sharma A., Kumar A., Singh J., Sharma A. PGPR-Enabled bioremediation of pesticide and heavy metal-contaminated soil: A review of recent advances and emerging challenges. *Chemosphere*. 2024, vol. 362, article 142678. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.142678.

13. Kucher L., Krasnoshtan I., Nedilska U., Muliarchuk O., Manzii O., Menderetsky V., Boroday V., Beregniak E., Voitsekhivskyi V., Myronycheva O. Heavy metals in soil and plants during revegetation of coal mine spoil tips and surrounded territories. *Journal of Ecological Engineering*. 2023, vol. 24, no. 7, pp. 234—245. DOI: 10.12911/22998993/164756.

14. Fedorov S., Zavyalov S., Yurak V. Ore minerals in technogenic wastes of the Levikhinsky mine (Middle Urals). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022, vol. 988, no. 3, article 032088. DOI: 10.1088/1755-1315/988/3/032088.

15. Raffa C. M., Chiampo F., Shanthakumar S. Remediation of metal/metalloid-polluted soils: A short review. *Applied Sciences*. 2021, vol. 11, article 4134. DOI: 10.3390/app11094134.

16. Baruzdin A. A., Zakrevskaya L. V., Nikolaeva K. A. Composite material based on technogenic waste. *Expert: Theory and Practice*. 2023, no. 2(21), pp. 17—23. [In Russ]. DOI: 10.51608/26867818_2023_2_17.

17. Antoninova N. Yu., Sobenin A. V., Usmanov A. I. Systematization of data on sources of input and ecotoxicological impact of Cu, Zn, and Cd as a basis for developing environmental protection measures. *News of the Ural State Mining University*. 2026, no. 2, pp. 80—91. [In Russ].

18. Apakashev R. A., Guman O. M., Valiev N. G. Reclamation of disturbed lands using technogenic water treatment sludge. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020, vol. 12, no. 2(44), pp. 229—236. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-2-229-236.

19. Charazińska S., Lochyński P., Burszta-Adamiak E. Recent trends in Ni(II) sorption from aqueous solutions us-ing natural materials. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2022, vol. 21, pp. 105—138.

20. Bashkin V. N., Galiulina R. A. Remediation of heavy metal-contaminated soils using sorption technologies. Communication 1. Use of mineral and organic sorbents. *Agrokhimiya*. 2025, no. 11, pp. 89—102. [In Russ]. DOI: 10.7868/S3034496425110102.

21. Finlay N. C., Peacock C. L., Hudson-Edwards K. A., Johnson K. L. Characteristics and mechanisms of Pb(II) sorption onto Fe-rich waste water treatment residue (WTR): A potential sustainable Pb immobilization technology for soils. *Journal of Hazardous Materials*. 2021, vol. 402, article 123433. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.123433.

22. Likus M., Komorowska-Kaufman M., Pruss A., Marzec M., Bajda T. Sorption properties of groundwater treatment residuals containing iron oxides. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2023, vol. 11, no. 5, article 110342. DOI: 10.1016/j.jece.2023.110342.

23. Shatrova A. S., Bogdanov A. V., Tyukalova O. V. Heavy metal sorption with lignin-containing sludge from the pulp and paper industry. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2024, vol. 335, no. 5, pp. 66—74. [In Russ]. DOI: 10.18799/24131830/2024/5/4299.

24. Bukhanov V.D., Zuev N.P., Tuchkov N.S. Preparation of a composite sorbent based on mineral and vegetable carbon-containing raw materials. *Michurinsk agronomy bulletin*. 2024, no. 3, pp. 45—53. [In Russ].

25. Kabtul Kh., and Glazunova I. V. Conditions for Using Sorbents in Local Hydraulic Structures on Reclamation Systems in Hot Climates. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2025, vol. 97, no. 3, pp. 122—137. [In Russ].

26. Lebzin M. S. *Obosnovanie tekhnologii konservatsii porodnykh otvalov sorbent-orientirovannym metodom* [Substantiation of the technology for the preservation of rock dumps using a sorbent-oriented method], Candidate's thesis, Ekaterinburg, 2025, 27 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Стороженко Любовь Александровна[1] — канд. геол.-минерал. наук, доцент, зав. кафедрой; ООО «Гингео», e-mail: stor_luba@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4185-956X,
Шайхутдинова Мария Маратовна[1] — зав. лабораторией, преподаватель, e-mail: merfeiyr@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0004-4965-2103,
Лебзин Максим Сергеевич[1] — младший научный сотрудник, e-mail: az_ma@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5959-135X,
Прокопьева Анна Андреевна[1] — учебный мастер, преподаватель, e-mail: ana.prokopeva.2000@mail.ru, ORCID ID: 0009-0003-9087-2864,
Болтыров Владимир Босхаевич[1] — доктор геол.-минерал. наук, профессор, профессор, e-mail: boltyrov34@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5564-0054,
[1] Уральский государственный горный университет.
Для контактов: Лебзин М.С., e-mail: az_ma@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

L.A. Storozhenko[1], Cand. Sci. (Geol. Mineral.), Assistant Professor, Head of Chair; LLC «Gingeo», 620014, Yekaterinburg, Russia, e-mail: stor_luba@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4185-956X,
M.M. Shaikhutdinova[1], Head of Laboratory, Lecturer, e-mail: merfeiyr@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0004-4965-2103,
M.S. Lebzin[1], Junior Researcher, e-mail: az_ma@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5959-135X,
A.A. Prokopeva[1], Training Master, Lecturer, e-mail: ana.prokopeva.2000@mail.ru, ORCID ID: 0009-0003-9087-2864,
V.B. Boltyrov[1], Dr. Sci. (Geol. Mineral.), Professor, Professor, e-mail: boltyrov34@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5564-0054,
[1] Ural State Mining University, 620144, Yekaterinburg, Russia.
Corresponding author: M.S. Lebzin, e-mail: az_ma@mail.ru.

Получена редакцией 30.07.2026; получена после рецензии 21.09.2026; принята к печати 10.11.2026.
Received by the editors 30.07.2026; received after the review 21.09.2026; accepted for printing 10.11.2026.