

ЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 631.41, 631.43

EDN: XVQOKX

doi: 10.17072/1994-9952-2025-4-424-433



**Эколого-биологические свойства литостратов  
рекультивированных отвалов Кизеловского угольного бассейна**

**Наталья Васильевна Митракова<sup>1</sup>✉, Наталья Сергеевна Султанова<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>1</sup>✉ mitrakovanatalya@mail.ru

<sup>2</sup> natasulta777@gmail.com

**Аннотация.** Влияние отвалов угледобывающей промышленности на окружающую среду носит чаще всего негативный характер. Рекультивация отвалов и восстановление почвенно-растительного покрова является актуальной задачей на территории горнодобывающих комплексов. Исследование проведено в центральной части Кизеловского угольного бассейна Пермского края. Изучены литостраты рекультивированных отвалов. Для определения свойств почв использованы традиционные методы химического и физического анализа, а также фитотестирование. Возраст литостратов от 7 до 10 лет, профиль маломощный, на большей части отвалов отсутствует растительность. Литостраты слабокислые и кислые, кислотность с глубиной увеличивается. Содержание органического вещества ниже фонового уровня, увеличивается с глубиной. Литостраты плотные, имеют глинистый и суглинистый гранулометрический состав. Активность ферментов свидетельствует о низкой биологической активности. Высота и масса тест-культуры показала удовлетворительное состояние литостратов. Интегральные геохимические индексы загрязнения свидетельствуют о допустимом уровне содержания тяжелых металлов в литостратах.

**Ключевые слова:** литострат, угольный отвал, рекультивация, кислотность, ферменты, фитотестирование, тяжелые металлы

**Для цитирования:** Митракова Н. В., Султанова Н. С. Эколого-биологические свойства литостратов рекультивированных отвалов Кизеловского угольного бассейна // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2025. Вып. 4. С. 424–433. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-4-424-433>.

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 24-27-00324, <https://rscf.ru/project/24-27-00324/>.

ECOLOGY

Original article

**Ecological and biological properties of lithostrats  
of recultivated dumps in the Kizel coal basin**

**Natalya V. Mitrakova<sup>1</sup>✉, Natalya S. Sultanova<sup>2</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Perm State University, Perm, Russia

<sup>1</sup>✉ mitrakovanatalya@mail.ru

<sup>2</sup> natasulta777@gmail.com

**Abstract.** The impact of coal mining waste dumps on the environment is predominantly negative. Reclaiming these dumps and restoring the soil-plant cover is a critical task in mining complexes. This study was conducted in the central part of the Kizel Coal Basin in Perm Krai. The lithostrats of reclaimed dumps were investigated. Traditional methods of chemical and physical analysis, as well as phytotesting, were used to determine soil properties. The lithostrats are 7 to 10 years old, feature a thin profile, and lack vegetation on most of the dumps. The lithostrats are slightly acidic to acidic, with acidity increasing with depth. The organic matter content is below the background level and increases with depth. The lithostrats are dense, with clayey and loamy granulometric composition. Enzyme activity indicates low biological activity. The height and mass of the test culture suggested satisfactory condition of the lithostrats. Integral geochemical pollution indices indicate an acceptable level of heavy metal content in lithostrats.

**Keywords:** lithostrat, coal dump, reclamation, soil acidity, enzymes, phytotesting, heavy metals

**For citation:** Mitrakova N. V., Sultanova N. S. [Ecological and biological properties of lithostrats of recultivated dumps in the Kizel coal basin]. *Bulletin of the Perm University. Biology*. Iss. 4 (2025): pp. 424-433. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-4-424-433>.

**Acknowledgments:** funding the study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-27-00324, <https://rscf.ru/project/24-27-00324/>.

## Введение

Горнодобывающая деятельность оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду. Нарушения ландшафтной структуры имеют место на всех этапах недропользования: разведке, подземной и открытой добыче, строительстве коммуникаций и переработке полезных ископаемых [Li et al., 2015; Dutta, Jain, Kumar, 2025; Thakur et al., 2025]. В результате происходят прямое изъятие земель под хранение твердых и жидких отходов, изменение рельефа, гидрологического режима территории, загрязнение поверхностных и подземных вод, почв и атмосферного воздуха [Максимович, Пьянков, 2018; Arefieva et al., 2019; Kostin et al., 2021]. При эксплуатации шахт и горной инфраструктуры отмечается трансформация структуры и состава поверхностного слоя земной коры, в частности почвенно-растительного покрова. При отсутствии мероприятий по рекультивации земель в техногенно-нарушенных ландшафтах усиливаются процессы эрозии [Харионовский, Данилова, 2020], увеличиваются ареалы загрязненных земель.

Рекультивация отвалов в угледобывающих ландшафтах способствует снижению негативного воздействия. Так, рекультивация предотвращает горение и загрязнение воздуха полиароматическими углеводородами [Bragina et al., 2014]. Покрытие отвалов на месторождениях сернокислых углей помогает снижению объемов кислых шахтных дренажей, обогащенных микроэлементами и тяжелыми металлами [Соколов, Камахина, 2011; Mitrakova et al., 2024]. Кроме того, рекультивация отвалов содействует более быстрому восстановлению почвенно-растительного покрова. Нормативными документами регламентирована рекультивация нарушенных земель, в том числе в горнодобывающих районах, она включает два этапа – технический и биологический<sup>1</sup>.

Процесс почвообразования на отвалах затруднен и продолжителен в связи с бедностью субстрата отвала или его токсичностью. На Кузбассе на отвалах антрацитового месторождения происходит формирование почв непосредственно на субстратах вскрышных пород, образуются почвы – эмбриоземы, со временем происходит накопление в них органического вещества, мелкозема и восстановления травяного покрова [Андроханов, Соколова, 2022]. На токсичных отвалах вскрышных пород восстановление растительности невозможно без его покрытия плодородным или потенциально плодородным слоем, при этом применение мелиоративных мероприятий ускоряет восстановление почвенно-растительного покрова [Осинцева, Дюкова, 2024]. Ученые предлагают новые способы рекультивации земель на территориях, нарушенных горной добычей. Так, предложен способ формирования откоса породного отвала с формированием пионерной отвальной насыпи вдоль раздвоенной границы отвала слева и справа навстречу друг к другу с последующей посадкой саженцев древесных растений [Галайко, Зеньков, 2024]. В качестве наносимого на отвал материала предлагаются мелкодисперсные грунты, такие как мелкодисперсные (без крупных включений) моренные отложения, хвосты флотационного обогащения руд, илы и сапропели водоемов, илы очистных сооружений [Архипов, Земцовская, 2016]. Устойчивый фитоценоз предотвращает эрозионные процессы на отвалах, горение и загрязнение прилегающих территорий. Для наибольшей эффективности рекультивации необходимо проводить два этапа – технический и биологический, с включением мелиоративных и агротехнических мероприятий.

Цель работы – изучение биолого-экологических свойств литостратов рекультивированных отвалов Кизеловского угольного бассейна. Задачами являются анализ физико-химических, биологических свойств литостратов и оценка их экологического состояния.

## Объекты и методы исследования

Кизеловский угольный бассейн (КУБ) расположен в восточной части Пермского края. КУБ находится в пределах Западно-Уральской зоны складчатости, прилегающей к Предуральскому краевому прогибу [Геология месторождений ..., 1967]. Территория КУБа относится к Западному предгорному району тяжелосуглинистых подзолистых, дерново-подзолистых и заболоченных почв; район исследования расположен в средне- и южнотаежных предгорных пихтово-еловых и елово-пихтовых лесах. Для территории месторождения характерен умеренно-континентальный климат [Атлас Пермского края, 2012].

---

<sup>1</sup> ГОСТ Р 57446-2017 Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019; ГОСТ Р 59057-2020 Охрана окружающей среды. Земли. Общие требования по рекультивации нарушенных земель. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2020.

Площадь КУБа около 1500 км<sup>2</sup>. Добыча на месторождении велась подземным способом на протяжении 200 лет, в начале 2000-х годов месторождение было ликвидировано. В настоящее время на территории КУБа насчитывается несколько десятков отвалов вскрышных пород. Угли бассейна характеризуются повышенной зольностью и высоким содержанием серы, в основном пиритной [Максимович, Пьянков, 2018]. Наличие серы обуславливает образование кислых шахтных вод, которые поступают на поверхность из скважин, штолен шахт и стоков с отвалов.

Объекты исследования – техногенные поверхностные образования (литостраты) (рис. 1). Литостраты образованы в результате отсыпки глинистого материала на поверхность спланированных угольных отвалов. Рекультивация отвалов вскрышных пород на КУБе имеет очень важное значение в связи с уменьшением объемов кислых шахтных вод.

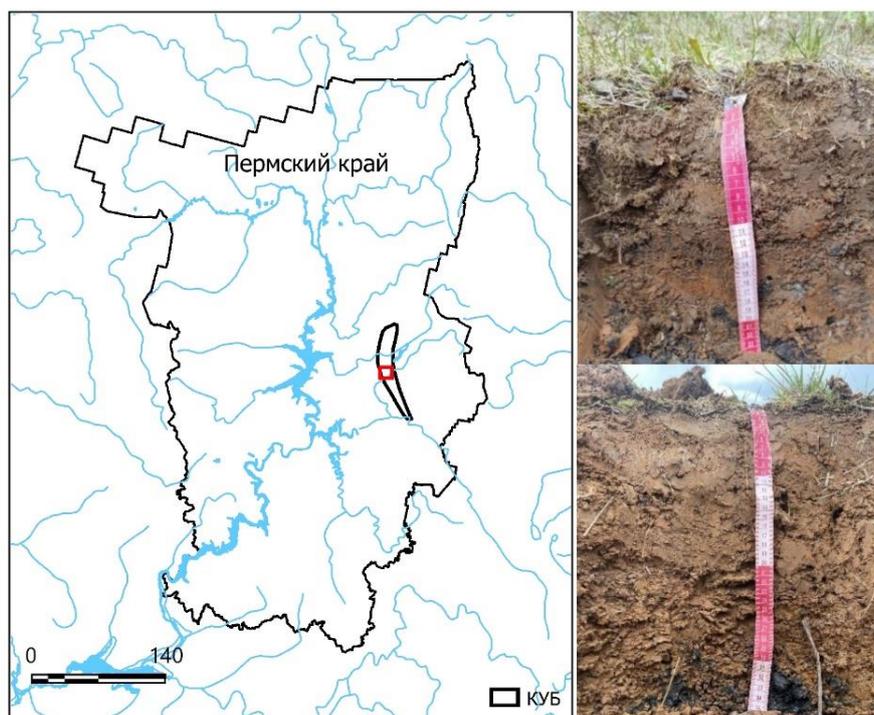


Рис. 1. Территория исследования и литостраты на отвалах  
[Study area and lithostrats on dumps]

Территория отбора проб включала центральную часть КУБа. Пробы почв отобраны на отвалах шахт Шумихинская (пос. Юбилейный) (1Ю, 3Ю), Гореловская (пос. Шумихинский) (4Г), Усьва (пос. Усьва) (2У), Нагорная (пос. Нагорнский) (1Н). Литостраты отобраны по слоям с шагом 10 см, глубина прикопок обусловлена мощностью насыпного грунта. Фоновые почвы территории исследования – серогумусовые глинистые.

Актуальную и обменную кислотность почв определяли потенциометрическим методом. Содержание органического вещества (ОВ) определено по методу Тюрина, гидrolитическая кислотность – по методу Каппена; активность каталазы (АК) – по пермарганатному методу Джонсона и Темпле; определение активности уреазы (АУ) (карбамид-амидогидролаза) выполнено колориметрическим методом Шербакова и Райхинштейна; активность инвертазы (АИ) определена по методу Бертрона с последующим колориметрированием [Практикум по агрохимии, 2001]; проведение эксперимента по фитотестированию осуществлено с использованием кресс-салата в качестве тест-культуры [Еремченко, Митракова, 2017]. Для изучения биологических свойств литостратов заложен опыт по фитотестированию. В качестве тест-культуры использован кресс-салат *Lepidium sativum* L. сорта 'Весенний'. В качестве контрольного варианта кресс-салат выращивали на вермикулите с раствором Кнопа. Тест-культуру выращивали в течении 10 дней при температуре 25°C под фитолампами. Определение плотности проводили пикнометрическим методом; определение гранулометрического состава – по методу пипетки Н.А. Качинского (фракции диаметром более 1 см были определены ситовым методом, а фракции менее 1 см – ареометрическим). Микроэлементный состав (Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb) определен методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на Elan 900.

Для эколого-геохимической оценки поверхностных слоев почв использовали суммарный индекс загрязнения Zс и индекс геологического накопления элементов в почвах (Igeo). Igeo связывает содержание

элементов природного фона почвы с влиянием деятельности человека на содержание элементов в техногенно-нарушенной почве. *Igeo* рассчитывается для каждого элемента по уравнению [Martinez, Poletto, 2014]:

$$Igeo = \log_2 \left( \frac{Cn}{(K \times Bn)} \right),$$

где *Cn* – содержание микроэлемента в почве; *Bn* – локальное природное фоновое содержание микроэлемента в почве; коэффициент *K* – компенсация фонового содержания за счет литогенных факторов, обычно устанавливаемый равным 1.5 [Martinez, Poletto, 2014]. *Igeo* делится на семь классов: 1) *Igeo* ≤ 0 – практически незагрязненный; 2) 0 < *Igeo* < 1 – незагрязненный до умеренно загрязненного; 3) 1 < *Igeo* < 2 – умеренно загрязненный; 4) 2 < *Igeo* < 3 – средне загрязненный; 5) 3 < *Igeo* < 4 – сильно загрязненный; 6) 4 < *Igeo* < 5 – сильно загрязненный до чрезмерно загрязненного; 7) 5 < *Igeo* – чрезмерно загрязненный.

Программное обеспечение MS Excel, Past и Statistica 4.03 использовалось для расчета статистических показателей. Показатели растений проанализированы с использованием t-теста, показатели почв сравнивались дисперсионным непараметрическим методом (критерий Крускала – Уоллиса). Значимые различия между сравниваемыми средними значениями считались с уровнем достоверности 95% и выше (*p* < 0.05). Для анализа полученных данных использовали регрессионный и корреляционный анализы с доверительной вероятностью 95%.

## Результаты и их обсуждение

Верхние слои литостратов характеризуются кислой и слабокислой реакцией (*pH*<sub>вод</sub>=4.1–6.2; *pH*<sub>сол</sub>=5.5–3.2), при этом с глубиной кислотность увеличивается. Это связано с наличием в нижней части почв включений пород отвала, имеющих очень кислую реакцию за счет сульфидных минералов. Гидролитическая кислотность (Нгк) также свидетельствует о возрастании кислотности с глубиной (табл. 1). Кислотность верхнего слоя литостратов не отличается от кислотности фоновых почв; судя по всему, глинистый материал для отсыпки отвалов представляет собой местную породу. Известно, что кислотность негативно влияет на питание растений, их рост и развитие. При проведении рекультивации необходимо учитывать мелиоративные мероприятия, например известкование почв.

Таблица 1

**Химические свойства литостратов**  
[Chemical properties of lithostrats]

| Почва                            | Горизонт, глубина, см | <i>pH</i> водное | <i>pH</i> солевое | Нгк, ммоль/100 г | ОВ, % |
|----------------------------------|-----------------------|------------------|-------------------|------------------|-------|
| Серогумусовая глинистая почва 1Ф | 0-10                  | 4.50             | 3.60              | 12.40            | 5.14  |
|                                  | 10-20                 | 4.90             | 3.70              | 15.50            | 3.96  |
|                                  | 20-30                 | 5.10             | 3.80              | 11.60            | 2.61  |
| Литострат 1Ю                     | 0-10                  | 5.43             | 3.60              | 7.35             | 4.87  |
|                                  | 10-17                 | 4.35             | 3.70              | 14.70            | 8.40  |
| Литострат 3Ю                     | 0-10                  | 6.20             | 5.54              | 2.80             | 5.14  |
|                                  | 10-20                 | 4.67             | 3.34              | 10.50            | 1.86  |
| Литострат 4Г                     | 0-10                  | 5.47             | 4.19              | 3.50             | 1.95  |
|                                  | 10-20                 | 5.34             | 3.91              | 12.95            | 1.56  |
|                                  | 20-38                 | 3.28             | 2.64              | 19.25            | 2.98  |
| Литострат 1Н                     | 0-10                  | 4.70             | 3.60              | 14.90            | 3.92  |
|                                  | 10-20                 | 4.50             | 3.60              | 17.30            | 4.31  |
|                                  | 20-30                 | 4.90             | 3.60              | 11.00            | 2.13  |
| Литострат 2У                     | 0-10                  | 4.10             | 3.20              | 13.90            | 2.28  |
|                                  | 10-20                 | 3.50             | 3.10              | 23.90            | 2.07  |
|                                  | 20-30                 | 2.60             | 2.30              | 27.80            | 19.50 |

Содержание ОВ в литостратах увеличивается вниз по профилю (табл. 1). Увеличение ОВ с глубиной связано со смешиванием отсыпанной глины и углистых частиц, количество которых увеличивается с глубиной. Уменьшение количества органического вещества с глубиной может быть признаком того, что отсыпку глины на поверхность отвала произвели сравнительно недавно. Содержание ОВ в фоновой серогумусовой почве уменьшается с глубиной. Количество ОВ в верхнем слое серогумусовой почвы достоверно превышает содержание ОВ в верхних слоях литостратов. Это связано с молодостью почв на отвалах и отсутствием устойчивого растительного покрова. Накопление ОВ со временем развития почв подтверждает публикация [Vandyopadhyay et al, 2020], в которой приведены данные по исследова-

нию почв в районах угледобычи. В почвах деградированных земель угольных шахт через 5, 10 и 25 лет после добычи запасы углерода и азота увеличивались по сравнению с первоначальным состоянием.

Информативными показателями эколого-биологического состояния почв являются почвенные ферменты. Ферменты участвуют в процессах разложения органики и образования гумуса. Активность ферментов используется как интегральный показатель активности биологических процессов. Также активность ферментов можно использовать в качестве индикаторов развития процессов восстановления почв в промышленных районах [Li et al., 2015], ферменты чувствительны к загрязнению тяжелыми металлами [Сайранова, Еремченко, 2024]. Каталаза относится к группе ферментов оксидоредуктаз, она катализирует окислительно-восстановительную реакцию расщепления молекулы перекиси водорода до воды и кислорода. Каталаза является чувствительным ферментом к изменению почвенных условий: температуры, кислотности, аэрации и др. [Новоселова, Волкова, 2017]. Инвертаза гидролизует сахарозу, рафинозу, генцианозу, стахиозу: катализирует фруктоотрансферазные реакции на глюкозу и фруктозу. По активности инвертазы можно судить о скорости разложения углеродсодержащих органических соединений [Саетгалиева, 2014]. Фермент уреазы катализирует гидролиз мочевины до аммиака, углекислого газа и воды.

Активность каталазы в верхних слоях серогумусовой почвы достоверно превышает показатели АК в литостратах 1Ю, 4Г и 2У (табл. 2). Активность каталазы имеет тенденцию к снижению с глубиной, однако в некоторых литостратах АК с глубиной увеличивается. Возможно, это связано с содержанием ОВ и слабокислой реакцией почв.

Активность уреазы в верхних слоях фоновой серогумусовой почвы (1.9 мг N-NH на 10 г почвы за 24 ч) в несколько десятков раз превышает АУ в литостратах (0.01–0.75 мг N-NH на 10 г почвы за 24 ч). Активность уреазы в большинстве литостратов снижается с глубиной. Показатели активности уреазы в литостратах свидетельствуют о низком содержании органического вещества и нарушении способности почвы эффективно осуществлять азотный обмен.

Статистический анализ показал достоверные отличия в активности инвертазы в верхних слоях фоновой серогумусовой почвы и литостратов (табл. 2). Активность инвертазы максимальна в поверхностном слое почвы, далее вниз по профилю ее активность снижается, что соответствует снижению содержания гумуса и численности микрофлоры [Магда, Мазиров, Зинченко, 2022].

Таблица 2

**Биологические свойства литостратов и морфометрические показатели тест-культуры**  
**[Biological properties of lithostrats and morphometric parameters of the test culture]**

| Почва                            | Глубина, см | АК, мл 0,1 КМnO <sub>4</sub> на 1 г почвы | АУ, мг N-NH на 10 г/24 ч | АИ, мг глюкозы на 10г/24 ч | Высота, мм | Масса, мг |
|----------------------------------|-------------|---|--------------------------|----------------------------|------------|-----------|
| Серогумусовая глинистая почва 1Ф | 0-10        | 0.34                                      | 1.90                     | 192.84                     | 28         | 11        |
|                                  | 10-20       | 0.23                                      | 0.63                     | 98.11                      | -          | -         |
|                                  | 20-30       | 0.14                                      | 0.03                     | 51.79                      | -          | -         |
| Литострат 1Ю                     | 0-10        | 0.30*                                     | 0.05*                    | 167.58*                    | 33         | 13        |
|                                  | 10-17       | 0.31                                      | 0.02                     | 34.95                      | -          | -         |
| Литострат 3Ю                     | 0-10        | 0.35                                      | 0.75*                    | 180.91*                    | 32         | 13        |
|                                  | 10-20       | 0.15                                      | 0.02                     | 30.74                      | -          | -         |
| Литострат 4Г                     | 0-10        | 0.26*                                     | 0.04*                    | 32.84*                     | 35*        | 13        |
|                                  | 10-20       | 0.19                                      | 0.02                     | 30.74                      | -          | -         |
|                                  | 20-38       | 0.12                                      | 0.01                     | 110.74                     | -          | -         |
| Литострат 1Н                     | 0-10        | 0.26                                      | 0.03*                    | 142.32*                    | 26         | 8*        |
|                                  | 10-20       | 0.34                                      | 0.02                     | 43.39                      | -          | -         |
|                                  | 20-30       | 0.35                                      | 0.03                     | 53.89                      | -          | -         |
| Литострат 2У                     | 0-10        | 0.12*                                     | 0.03*                    | 114.95*                    | 32*        | 13        |
|                                  | 10-20       | 0.17                                      | 0.02                     | 209.68                     | -          | -         |
|                                  | 20-30       | 0.36                                      | 0.03                     | 45.47                      | -          | -         |

Примечание: \* – достоверные отличия от фона.

Фитотестирование применяется для оценки экологического состояния почв разных ландшафтов и при различном антропогенном воздействии. Так, с помощью фитотестирования проведена оценка эффективности технической рекультивации нефтезагрязненных почв и способности создавать условия для роста и развития культурных растений [Еремченко и др., 2022]. При изучении состояния почв в урбанизированных и техногенных ландшафтах применение фитотестирования явилось информативным методом оценки экологических свойств почв [Еремченко, Митракова, 2016]. В настоящем исследовании фитотестирование показало достоверное отличие массы и высоты кресс-салата, выращенного на вермикулите, от массы кресс-салата, выращенного на пробах верхних слоев литостратов и фоновой почвы. Масса растений,

выращенных на фоновой серогумусовой почве, достоверно превышает массу растений, выращенных на литострате 1Н (табл. 2). Высота кресс-салата, выращенного на фоновой почве, достоверно ниже, чем высота растений, выращенных на литостратах 2У и 4Г (рис. 2). В целом фитотестирование свидетельствует об удовлетворительном состоянии как литостратов, так и фоновой почвы по отношению к контрольному варианту на вермикулите, т. к. разница в показателях не превышает 30% [Еремченко, Митракова, 2017].

Гранулометрический состав определяет физические, химические, биологические свойства почвы, а также ее плодородие. Литостаты на отвалах плотные, удельная плотность верхних слоев составляет около  $2.6 \text{ г/см}^3$ , что соответствует минеральным горизонтам почв. С глубиной плотность снижается до  $2.0\text{--}2.3 \text{ г/см}^3$ , что связано с воздействием техники на горнотехническом этапе рекультивации. Плотность серогумусовой почвы в верхнем слое достоверно ниже, чем в литостратах.

Литостраты по всей глубине профиля имеют глинистый гранулометрический состав, как и фоновая почва (рис. 2). Содержание физической глины и физического песка составило в основном 60 на 40%. Верхние слои почв характеризуются как глина легкая и глина тяжелая крупнопылевато-иловатая или суглинок тяжелый крупнопылевато-иловатый. Нижние слои менее плотные за счет большого количества включений в виде угля, гальки и минералов, составляющих породный отвал. Гранулометрический состав нижних слоев чаще всего представлен суглинком тяжелым мелкопесчано-иловатым, а также глиной легкой крупнопылевато-иловатой. Уплотнение неблагоприятно сказывается на водном и воздушном режиме почвы, способствует снижению биологической активности и препятствует восстановлению растительности. Плотность имеет большое влияние на урожайность сельскохозяйственных культур [Дридигер, Стукалов, Матвеев, 2017], а также на восстановление почвенно-растительного покрова на отвалах горной добычи. Так в работе [Гуркова, Андроханов, Лавриненко, 2020] показано, что низкая плотность отсыпанных на рекультивированные отвалы угледобычи в Хакасии потенциально плодородных пород способствует более эффективному восстановлению растительности. Механическая обработка почвы оказывает влияние на подавляющее большинство биохимических почвенных процессов, ее отсутствие способствует замедлению процессов разложения органического вещества [Магда, Мазиров, Зинченко, 2022]. Таким образом, механическая обработка поверхности литостратов в период рекультивации будет играть важную роль для произрастания растений.

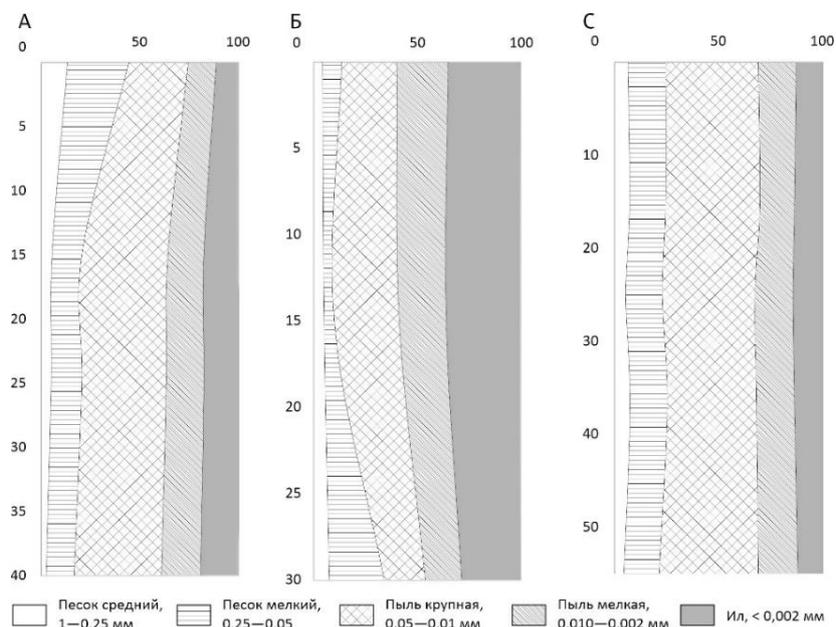


Рис. 2. Гранулометрический состав почв (А – серогумусовая почва, Б- литострат 2У, С – литострат 1Н) [Granulometric composition of soils (A – gray humus soil, B – lithostrat 2U, C – lithostrat 1N)]

Исследование тяжелых металлов обусловлено их токсичностью для живых организмов и значительным распространением. Содержание таких элементов, как Cd, Cu, Zn, Hg Pb в почвах данной территории связано с его халькофильной природой и геохимическими особенностями данного ландшафта [Копылов, 2013]. Минералы вскрышных пород угольных отвалов обогащены рядом тяжелых металлов, что также является причиной их появления в почвах угледобывающих территорий [Yiwei et al., 2008; Lewinska-Preis et al., 2021].

Содержание тяжелых металлов в корнеобитаемом слое литостратов превышает фоновые значения (табл. 3). Количество Cd и Pb в литостратах также превышает кларк и ОДК, что, по-видимому, связано с

халькофильной природой элементов. Так, согласно [Bragina et al., 2014], кадмий и свинец являются одними из наиболее распространенных элементов, накапливающихся в почвах в угледобывающих районах.

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в корнеобитаемом слое почв (0–10 см), мг/кг  
[Heavy metal content in the root layer of soils (0-10 cm), mg/kg]

| Почва      | Cd          | Cu           | Zn            | Hg          | Ni           | Pb           | Zc  |
|------------|-------------|--------------|---------------|-------------|--------------|--------------|-----|
| 1Ф         | <i>1.25</i> | 15.30        | 46.72         | 0.04        | 25.8         | 15.72        | -   |
| 1Ю         | <i>1.58</i> | 40.74        | <b>108.76</b> | <b>0.15</b> | <b>47.19</b> | <b>18.87</b> | 7.0 |
| 3Ю         | <i>2.41</i> | <b>47.01</b> | <b>97.52</b>  | <b>0.15</b> | <b>53.98</b> | <b>22.28</b> | 8.3 |
| 4Г         | <i>2.08</i> | <b>48.80</b> | 81.72         | <b>0.09</b> | <b>66.97</b> | <b>17.96</b> | 6.6 |
| 1Н         | <i>4.06</i> | <b>68.37</b> | <b>97.24</b>  | 0.04        | 31.79        | <b>38.84</b> | 8.5 |
| 2У         | <i>4.98</i> | 38.66        | 60.02         | 0.04        | 29.80        | <b>17.60</b> | 5.1 |
| Кларк*     | 0.13        | 47.00        | 83.00         | 0.083       | 58.00        | 16.00        | -   |
| ОДК/ПДК ** | 1.0/        | 66.0/        | 110.0/        | /2.1        | 40.0/        | 65.0/        | -   |

Примечание: \* – кларк по Виноградову (1962); \*\* – СанПин 1.2.3685-21 (рН-КCl <5.5); Zc – интегральный показатель загрязнения; жирным шрифтом превышения относительно кларка, курсивом – относительно ОДК/ПДК.

Суммарный показатель загрязнения Zc варьирует от 5.1 до 8.3, что указывает на допустимый уровень содержания тяжелых металлов. Индекс геоаккумуляции (*Igeo*) показал умеренное загрязнение Hg верхних слоев литостратов 1Ю и 3Ю, для литострата 1Н выявлено загрязнение Cu, для почвы 2У – умеренное загрязнение Cd. Для данных почв значение *Igeo* составило 1.3–1.6.

### Заключение

Литостраты на отвалах Кизеловского угольного бассейна характеризуются слабокислой реакцией поверхностных слоев, с глубиной кислотность увеличивается до сильнокислой. Содержание органического вещества очень низкое, что объясняется молодостью данных почв. Активность каталазы и инвертазы почти во всех почвах незначительно меньше фонового уровня. Активность уреазы в фоновой почве в десятки раз превышает АУ в литостратах, что может быть обусловлено низким содержанием азота в почвах и фрагментарным растительным покровом. Фитотестирование в целом свидетельствует об удовлетворительном состоянии поверхностных слоев литостратов. Несмотря на то, что содержание тяжелых металлов превышает фоновые значения, индексы загрязнения свидетельствуют о допустимом уровне загрязнения. Однако, кроме отсыпки на поверхность отвалов глинистого материала, необходимы мелиоративные и агротехнические мероприятия, такие как вспашка, внесение минеральных и органических удобрений, посадка травянистых культур.

### Список источников

1. Андроханов В.А., Соколова Н.А. Почвенно-экологическое состояние поверхности отвалов антрацитовых месторождений (на примере Горловского антрацитового месторождения, Новосибирская область) // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 5. С. 31–36. DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_5\_31. EDN: JXGJMT.
2. Архипов А.В., Земцовская Е.В. Возможность рекультивации породных отвалов в условиях Заполярья и влияние рекультивации на отвалообразование // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 4. С. 110–121. EDN: VPLZRF.
3. Атлас Пермского края / под ред. А.М. Тартаковского. Пермь, 2012. 124 с.
4. Галайко В.В., Зеньков И.В. Патент № 2828496 С1 Российская Федерация, МПК E21C 41/32, A01C 11/02. Способ формирования откоса породного отвала с экологичной направленностью с биологической рекультивацией : № 2024112186 : заявл. 04.05.2024; опубл. 14.10.2024.
5. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 4. Угольные бассейны и месторождения Урала / под ред. Л.Д. Башаркевич и др. М.: Недра, 1967. Т. 4. 476 с.
6. Гуркова Е.А., Андроханов В.А., Лавриненко А.Т. Ресурсы и специфика рекультивации отвалов угледобывающей промышленности Хакасии // Почвы и окружающая среда. 2020. Т. 3, № 4. Art. e127. DOI: 10.31251/pos.v3i4.127. EDN: NJEMNK.
7. Дридригер В.К., Стукалов Р.С., Матвеев А.Г. Влияние типа почвы и ее плотности на урожайность озимой пшеницы, возделываемой по технологии no-till в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края // Земледелие. 2017. № 2. С. 19–22. EDN: YLMWNR.

8. Еремченко О.З., Митракова Н.В. Способ оценки биологической активности и токсичности почв и техногенных почвогрунтов: пат. 2620555 Рос. Федерация. № 2016113050; заявл. 05.04.2016; опубл. 26.05.2017, Бюл. № 15.
9. Еремченко О.З., Митракова Н.В. Фитотестирование почв и техногенных поверхностных образований в урбанизированных ландшафтах // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2016. Вып. 1. С. 60–67. EDN: VVMYRT.
10. Еремченко О.З. и др. Оценка эффективности рекультивации нефтезагрязненных почв // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 1. С. 64–71. DOI: 10.17072/1994-9952-2022-1-64-71. EDN: UYMHVC.
11. Копылов И.С. Закономерности формирования почвенных ландшафтов Приуралья, их геохимические особенности и аномалии // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 395. EDN: ROFXZR.
12. Магда Е.В., Мазиров М.А., Зинченко М.К. Активность каталазы и инвертазы при различной интенсивности механической обработки почвы // Владимирский земледелец. 2022. № 2(100). С. 24–30. DOI: 10.24412/2225-2584-2022-2-24-30. EDN: FJFLUX.
13. Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения. Пермь, 2018. 288 с. EDN: JSJQPX.
14. Новоселова Е.И., Волкова О.О. Влияние тяжелых металлов на активность каталазы разных типов почв // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 2. С. 190–193. EDN: YMHNIZ.
15. Осинцева М.А., Дюкова Е.А. Изучение особенностей почвенного покрова и биорекультивации угольных отвалов // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер. Естественные и медицинские науки. 2024. № 4. С. 86–98. DOI: 10.5922/vestniknat-2024-4-6. EDN: IBZCNN.
16. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
17. Саегалиева Г.Э. Ферментативная активность почвы как показатель ее плодородия // Молодой ученый. 2014. № 2(61). С. 277–278. EDN: RVNMBP.
18. Сайранова П.Ш., Еремченко О.З. Свойства псаммоземов камских надпойменных террас и оценка их устойчивости к загрязнению Cu и Cd // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2024. № 119. С. 66–97. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-119-66-97. EDN: TLEBSH.
19. Соколов Э.М., Камахина С.А., Влияние почвенного покрова Подмосковского угольного бассейна на развитие растительных культур // Известия ТулГУ. Технические науки. 2011. Вып. 6, ч. 2. С. 521–530. EDN: PXTKJN.
20. Харионовский А.А., Данилова М.Ю. Долевое участие угольной промышленности в негативном воздействии на окружающую среду // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2020. № 1. С. 86–93. EDN: FJNDHO.
21. Arefieva O. et al. Impact of mine waters on chemical composition of soil in the Partizansk Coal Basin, Russia // International Soil and Water Conservation Research. 2019. Vol. 7, iss. 1. P. 57–63. DOI: 10.1016/j.iswcr.2019.01.001. EDN: KPTOMM.
22. Bandyopadhyay S. et al. Assessment of forest ecosystem development in coal mine degraded land by using Integrated Mine Soil Quality Index (IMSQI): the evidence from India // Forests. 2020. Vol. 11(12). Art. 1310. DOI: 10.3390/f11121310. EDN: YBQAGV.
23. Bragina P.S. et al. Soils on overburden dumps in the forest steppe and mountain taiga zones of the Kuzbass // Eurasian Soil Science. 2014. Vol. 47. P. 723–733. DOI: 10.1134/S1064229314050032. EDN: UEOVUP.
24. Dutta S., Jain M. K., Kumar D. Evaluation of soil heavy metals in Raniganj open-cast coal mines in India: Spatial distribution, Positive Matrix Factorization and Monte Carlo Simulation // Process Safety and Environmental Protection. 2025. Vol. 194. P. 1038–1055. DOI: 10.1016/j.psep.2024.12.039. EDN: IBMPFS.
25. Kostin A.S. et al. Data on physico-chemical characteristics and elemental composition of gray forest soils (Greyzemic Phaeozems) in natural-technogenic landscapes of Moscow brown coal basin // Data in Brief. 2021. Vol. 35. Art. 106817. DOI: 10.1016/J.DIB.2021.106817. EDN: OHXBLG.
26. Lewinska-Preis L. et al. Selected ions and major and trace elements as contaminants in coal-waste dump water from the Lower and Upper Silesian Coal Basins (Poland) // International Journal of Coal Science and Technology. 2021. Vol. 8. P. 790–814. DOI: 10.1007/s40789-021-00421-9. EDN: XYUOAZ.
27. Li J. et al. Effects of regenerating vegetation on soil enzyme activity and microbial structure in reclaimed soils on a surface coal mine site // Applied Soil Ecology. 2015. Vol. 87. P. 56–62. DOI: 10.1016/j.apsoil.2014.11.010. EDN: UOEEVB.
28. Martinez L.L.G., Poletto C. Assessment of diffuse pollution associated with metals in urban sediments using the geoaccumulation index (Igeo) // Journal of Soils and Sediments. 2014. Vol. 14, iss. 7. P. 1251–1257. DOI: 10.1007/s11368-014-0871-y. EDN: DZWADP.

29. Mitrakova N.V. et al. Chemical and ecological properties of soils and the NDVI analysis on reclaimed sulfide coal waste dumps in the boreal zone // *Mining Science and Technology (Russia)*. 2024. Vol. 9, № 4. P. 406–419. DOI: 10.17073/2500-0632-2024-04-206. EDN: UXEJYX.
30. Thakur T.K. et al. A geospatial analysis of coal mine overburden reclamation: Land use, carbon stock, biomass, and soil genesis in chronosequence plantations // *Journal of Geochemical Exploration*. 2025. Vol. 271. Art. 107674. DOI: 10.1016/j.gexplo.2025.107674. EDN: VOGYUA.
31. Yiwei C. et al. Occurrence and fate of some trace elements during pyrolysis of Yima coal China // *Energy and fuels*. 2008. Vol. 22, № 6. P. 3877–3882.

## References

1. Androkhonov V.A., Sokolava N.A. [Soil and ecological state of the surface of anthracite deposit dumps (using the Gorlovskoye anthracite deposit, Novosibirsk region as an example)]. *Dostiženija nauki i tehniki APK*. V. 36, No. 5 (2022): pp. 31-36. (In Russ.). DOI 10.53859/02352451\_2022\_36\_5\_31.
2. Arkhipov A.V., Zemtsovskaya E.V. [Possibility of reclamation of waste dumps in Arctic conditions and the influence of reclamation on waste dump formation]. *Gornyj informacionno-analitičeskij bjulleten'*. No. 4 (2016): pp. 110-121. (In Russ.). EDN: VPLZR.
3. Tartakovskii A.M., ed. *Atlas Permskogo kraja* [Atlas of the Perm Territory]. Perm, 2012. 124 p. (In Russ.).
4. Galayko V.V., Zenkov I.V. Patent No. 2828496 C1 Russian Federation, IPC E21C 41/32, A01C 11/02. *Metod formirovanija otkosa porodnogo otvala s ècologičeskoj napravlennoš'ju s biologičeskoj rekultivacij* [Method for forming a slope of a rock dump with an environmentally friendly focus and biological reclamation]. No. 2024112186: declared 04.05.2024; published 14.10.2024. (In Russ.).
5. Basharkevič L.D., Kalmykov G.S., Lushnikov V.A., Mironov K.V., Tarkhaneev B.F., eds. *Geologija mes-toroždenij uglja i gorjučich slancev SSSR* [Geology of coal and oil shale deposits of the USSR]. Moscow, Nedra Publ., 1967, V. 4. 476 p. (In Russ.).
6. Gurkova E.A., Androkhonov V.A., Lavrinenko A.T. [Resources and specifics of reclamation of coal mining waste dumps in Khakassia]. *Počvy i okružajuščaja sreda*. V. 3, No. 4 (2020). Art. e127. DOI: 10.31251/pos.v3i4.127. (In Russ.).
7. Dridiger V.K., Stukalov R.S., Matveev A.G. [The influence of soil type and its density on the yield of winter wheat cultivated using no-till technology in the zone of unstable moisture in the Stavropol Territory]. *Zemledelecie*. No. 2 (2017): pp. 19-22 (In Russ.).
8. Eremchenko O.Z., Mitrakova N.V. *Metod otsenki biologičeskoj aktivnosti i toksičnosti pochv i tehnogennih gruntov* [Method for assessing the biological activity and toxicity of soils and technogenic soil grounds: patent 2620555 Russian Federation]. No. 2016113050; declared 05.04.2016; published 26.05.2017, Bulletin No. 15. (In Russ.).
9. Eremchenko O.Z., Mitrakova N.V. [Phytotesting of soils and technogenic surface formations in urban landscapes]. *Bulletin of Perm University. Biology*. No. 1 (2016): pp. 60-67. (In Russ.). EDN: VVMYRT.
10. Eremchenko O.Z., Saptsyn R.V., Lozhkina E.A., Tyrshu E.V. [Evaluation of the effectiveness of reclamation of oil-contaminated soils]. *Bulletin of Perm University. Biology*. No. 1 (2022): pp. 64-71. DOI 10.17072/1994-9952-2022-1-64-71. (In Russ.). EDN: UYMHVC.
11. Kopylov I.S. [Patterns of formation of soil landscapes of the Urals, their geochemical features and anomalies]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. No. 4 (2013): pp. 395. (In Russ.). EDN: ROFXZP.
12. Magda E.V., Mazirov M.A., Zinchenko M.K. [Activity of catalase and invertase at different intensities of mechanical tillage]. *Vladimirskij zemledec*. No. 2(100) (2022): pp. 24-30. DOI:10.24412/2225-2584-2022-2-24-30 (In Russ.). EDN: FJFLUX.
13. Maksimovich N.G., Pyankov S.V. *Kizelovskij ugolnyj Bassejn* [Kizelovsky coal basin: environmental problems and solutions]. Perm, 2018. 288 p. (In Russ.). EDN: JSJQPX.
14. Novoselova E.I., Volkova O.O. [The influence of heavy metals on the activity of catalase in different types of soils]. *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. No. 2 (2017): pp. 190-193. (In Russ.). EDN: YMXHIZ.
15. Osintseva M.A., Dyukova E.A. [Study of soil cover features and bioreclamation of coal dumps]. *Vestnik Baltijskogo federalnogo universiteta im. I. Kanta. Ser.: Estestvennye i medicinskie nauki*. No. 4 (2024): pp. 86-98. DOI: 10.5922/vestniknat-2024-4-6. (In Russ.).
16. Mineev V.G., ed. *Praktikum po agrochimii* [Workshop on agrochemistry]. Moscow, MGU Publ., 2001. 689 p. (In Russ.).
17. Saetgalieva G.E. [Enzymatic activity of soil as an indicator of its fertility]. *Molodoj učenij*. No. 2(61) (2014): pp. 277-278. (In Russ.). EDN: RVNMBP.
18. Sayranova P.Sh., Eremchenko O.Z. [Properties of psammozems of Kama floodplain terraces and assessment of their resistance to Cu and Cd pollution]. *Bulleten Počvennogo instituta im. V.V. Dokučajeva*. No. 119 (2024): pp. 66-97. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-119-66-97 (In Russ.). EDN: TLEBSH.

19. Sokolov E.M., Kamakhina S.A. [The influence of the soil cover of the Moscow coal basin on the development of plant crops]. *Izvestija TulGU. Tehničeskie nauki*. V. 6, Iss. 2 (2011): pp. 521-530. (In Russ.).
20. Kharionovsky A.A., Danilova M.Yu. [The coal industry's share of negative environmental impacts]. *Vestnik naučnogo centra po bezopasnosti robot v ugol'noi promyšlennosti*. No. 1 (2020): pp. 86-93. (In Russ.).
21. Arefieva O., Nazarkina A.V., Gruschakova N.V., Skurikhina J.E., Kolycheva V.B. Impact of mine waters on chemical composition of soil in the Partizansk Coal Basin, Russia. *International Soil and Water Conservation Research*. V. 7, Iss. 1 (2019): pp. 57-63. DOI: 10.1016/j.iswcr.2019.01.001.
22. Bandyopadhyay S., Novo L.A.B., Pietrzykowski M., Maiti S. K. Assessment of forest ecosystem development in coal mine degraded land by using Integrated Mine Soil Quality Index (IMSQI): the evidence from India. *Forests*. V. 11(12) (2020). Art. 1310. DOI: 10.3390/f11121310.
23. Bragina P.S., Tsibart A.S., Zavadskaya M.P., Sharapova A.V. Soils on overburden dumps in the forest steppe and mountain taiga zones of the Kuzbass. *Eurasian Soil Science*. V. 47 (2014): pp. 723-733. DOI: 10.1134/S1064229314050032.
24. Dutta S., Jain M. K., Kumar D. Evaluation of soil heavy metals in Raniganj open-cast coal mines in India: Spatial distribution, Positive Matrix Factorization and Monte Carlo Simulation. *Process Safety and Environmental Protection*. V. 194 (2025): pp 1038-1055. DOI: 10.1016/j.psep.2024.12.039.
25. Kostin A.S., Krechetov P.P., Chernitsova O.V., Terskaya E.V. Data on physico-chemical characteristics and elemental composition of gray forest soils (Greyzemic Phaeozems) in natural-technogenic landscapes of Moscow brown coal basin. *Data in Brief*. V. 35 (2021). Art. 106817. DOI: 10.1016/j.dib.2021.106817.
26. Lewinska-Preis L., Szram E., Fabianska M.J., Nadudvari A., Misz-Kennan M., Abramowicz A., Kruszewski L., Kita A. Selected ions and major and trace elements as contaminants in coal-waste dump water from the Lower and Upper Silesian Coal Basins (Poland). *International Journal of Coal Science and Technology*. V. 8 (2021): pp. 790-814. DOI: 10.1007/s40789-021-00421-9.
27. Li J., Zhou X., Yan J., Li H., He J. Effects of regenerating vegetation on soil enzyme activity and microbial structure in reclaimed soils on a surface coal mine site. *Applied Soil Ecology*. V. 87 (2015): pp. 56-62. DOI: 10.1016/j.apsoil.2014.11.010.
28. Martinez L.L.G., Poletto C. Assessment of diffuse pollution associated with metals in urban sediments using the geoaccumulation index (Igeo). *Journal of Soils and Sediments*. Vol. 14, Iss. 7 (2014): pp. 1251-1257. DOI: 10.1007/s11368-014-0871-y.
29. Mitrakova N. V., Khayrulina E. A., Perevoshchikova A. A., Poroshina N. V., Malyshkina E. E., Yakovleva E. S., Kobelev N. A. Chemical and ecological properties of soils and the NDVI analysis on reclaimed sulfide coal waste dumps in the boreal zone. *Mining Science and Technology (Russia)*. V. 9, No. 4 (2024): pp. 406-419. DOI: 10.17073/2500-0632-2024-04-206.
30. Thakur T.K., Patel D.K., Saini S., Thakur A., Swamy S. L., Bakshi S., Kumar A., Husain F.M., Kumar R. A geospatial analysis of coal mine overburden reclamation: Land use, carbon stock, biomass, and soil genesis in chronosequence plantations. *Journal of Geochemical Exploration*. V. 271 (2025). Art. 107674. DOI: 10.1016/j.gexplo.2025.107674.
31. Yiwei C., Guijian L., Lei W., Yu K., Jianli Y. Occurrence and fate of some trace elements during pyrolysis of Yima coal China. *Energy and fuels*. V. 22, No. 6 (2008): pp. 3877-3882.

Статья поступила в редакцию 16.10.2025; одобрена после рецензирования 25.11.2025; принята к публикации 02.12.2025.

The article was submitted 16.10.2025; approved after reviewing 25.11.2025; accepted for publication 02.12.2025.

#### **Информация об авторах**

Н. В. Митракова – канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии техногенных ландшафтов;

Н. С. Султанова – магистрант кафедры физиологии растений и экологии почв.

#### **Information about the authors**

N. V. Mitrakova – PhD, Senior Researcher, Laboratory of Biogeochemistry of Technogenic Landscapes;

N. S. Sultanova – Master's Student, Department of Plant Physiology and Soil Ecology.

#### **Вклад авторов:**

Митракова Н. В. – научное руководство; концепция исследования; написание исходного текста; итоговые выводы.

Султанова Н. С. – выполнение аналитических работ; поиск литературы; формулировка предварительных выводов.

#### **Contribution of the authors:**

Mitrakova N. V. – research supervision; methodology development; writing the draft; final conclusions.

Sultanova N. S. – performing analytical work; literature search; preliminary conclusions.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.