Оригинальная статья

Original Paper

УДК 631.42 © Н.В. Митракова✉, Е.А. Хайрулина, Н.С. Султанова, 2026

ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», 614990, г. Пермь, Россия
✉ e-mail: mitrakovanatalya@mail.ru

UDC 631.42 © N.V. Mitrakova✉, E.A. Khairulina, N.S. Sultanova, 2026

Perm State National Research University, 614990, Perm, Russian Federation
✉ e-mail: mitrakovanatalya@mail.ru

Опыт рекультивации техногенных поверхностных образований на угольных отвалах с использованием вторичного минерального калийсодержащего продукта*

The process of reclaiming technogenic landforms on coal waste dumps using potassium-rich secondary minerals

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2026-1-100-105

МИТРАКОВА Н.В.
Канд. биол. наук, старший научный сотрудник Естественнонаучного института ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», 614990, г. Пермь, Россия, e-mail: mitrakovanatalya@mail.ru

ХАЙРУЛИНА Е.А.
Доктор геогр. наук, доцент, главный научный сотрудник Естественнонаучного института ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», 614990, г. Пермь, Россия, e-mail: elenakhay@gmail.com

СУЛТАНОВА Н.С.
Магистр биологического факультета ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», 614990, г. Пермь, Россия, e-mail: natasulta777@gmail.com

Рекультивация земель играет важную роль в восстановлении земель, нарушенных горнодобывающей деятельностью. Изучение использования нетрадиционных средств для повышения плодородия почв и восстановления растительного покрова также важно, как и применение традиционных способов. В качестве мелиорантов при рекультивации могут быть использованы вторичные минеральные продукты, образованные из отходов производств. Территория исследования – Кизеловский угольный бассейн (КУБ) в Пермском крае. Месторождение ликвидировано в начале XX века, но негативный эффект продолжается за счет кислых дренажей, в том числе от отвалов вскрышных пород, рекультивация которых снижает объем дренажей. Исследованы литостраты рекультивированых отвалов Кизеловского угольного бассейна. В лабораторных условиях проведены опыты по оценке эффективности применения NPK-удобрений и вторичного минерального калийсодержащего продукта (ВМП) для улучшения биологических свойств литостратов. ВМП образован из глинисто-солевых отходов калийных предприятий. Для исследования химических свойств почв использованы традиционные методы анализа. Активность каталазы определена перманганатным методом Джонсона и Темпле, активность инвертазы – по методу Бертрана с последующим колориметрированием, в качестве тест-культуры при фитотестировании использован кресс-салат. Количество органического вещества в

** Исследование выполнено за счет гранта РНФ, проект № 24-27-00324 (https://rscf.ru/en/project/24-27-00324/).*

литостратах не превышает фоновых значений. При внесении в литостраты ВМП отмечается снижение кислотности. Высота и масса растений тест-культуры при внесении удобрения достоверно больше, чем при внесении ВМП, и в варианте без внесения добавок. Активность инвертазы в литостратах снижается при внесении ВМП. Исследования показали, что для получения положительного эффекта внесение вторичного минерального калийсодержащего продукта в литостраты должно быть дополнено внесением азотных и фосфорных удобрений.

Ключевые слова: *угольные отвалы, рекультивация, литостраты, фитотестирование, вторичный минеральный продукт.*

Для цитирования: Митракова Н.В., Хайрулина Е.А., Султанова Н.С. Опыт рекультивации техногенных поверхностных образований на угольных отвалах с использованием вторичного минерального калийсодержащего продукта // Уголь. 2026;(1):100-105. DOI: 10.18796/0041-5790-2026-1-100-105.

Abstract

Land reclamation is vital for restoring areas disturbed by mining activities. Studying alternative methods to improve soil fertility and restore vegetation is as important as applying conventional approaches. Secondary mineral products derived from industrial waste can serve as soil ameliorants during reclamation. The study area is the Kizel Coal Basin (KCB) in Perm Krai. Although mining at this site ceased in the early 20th century, its adverse environmental impact persists due to acidic drainage, which also originates from waste rock dumps. Reclamation of these dumps reduces the volume of such drainage. Lithostrates from the reclaimed dumps of the Kizel Coal Basin were examined. Laboratory experiments were conducted to evaluate the effectiveness of NPK fertilizers and a secondary mineral potassium-containing product (SMP) in enhancing the biological properties of lithostrates. The SMP is derived from clay-salt waste generated by potash production. Standard analytical methods were used to examine the chemical properties of the soils. Catalase activity was assessed using the permanganate method of Johnson and Temple, and invertase activity was measured using the Bertrand method followed by colorimetric analysis. Cress was used as the test crop in phytotesting. The amount of organic matter in lithostrates did not exceed background values. The addition of SMP led to reduced acidity. The height and biomass of the test crop were considerably higher in treatments with fertilizers compared to those with SMP addition or the control group (without any additives). Invertase activity decreased in response to SMP application. The findings indicate that to achieve a beneficial outcome, the incorporation of a secondary mineral potassium-containing product to lithostrates should be complemented by nitrogen and phosphorus fertilizers.

Keywords

Coal dumps, reclamation, lithostrates, phytotesting, secondary mineral potassium-containing product

Acknowledgements

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation, project No. 24-27-00324 (https://rscf.ru/en/project/24-27-00324/).

For citation

Mitrakova N.V. Khairulina E.A. Sultanova N.S. The process of reclaiming technogenic landforms on coal waste dumps using potassium-rich secondary minerals. *Ugol'*. 2026;(1):100-105. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2026-1-100-105.

ВВЕДЕНИЕ

Добыча угля оказывает значительное воздействие на экологическую среду. Вскрышные работы, транспортировка, отсыпка отходов приводят к негативному влиянию на почвенный покров [1]. Происходит загрязнение почвенного покрова металлами и микроэлементами [2], изменение физических, морфологических и химических свойств почв. В связи с этим во многих регионах мира остро стоят вопросы восстановления нарушенных ландшафтов.

Отвалы угольных разрезов обычно характеризуются каменистыми, бедными питательными веществами субстратами, в некоторых случаях химически агрессивными, подверженными частой эрозии [3]. Проведение рекультивационных работ имеет важное значение для восстановления экосистемы. Методы рекультивации весьма различны, они включают отсыпку на поверхность вскрышных пород почвенного субстрата [4] либо внесение в поверхностный слой отвалов химических мелиорантов, таких как сточные воды [5, 6] или отходы предприятий по производству соды [7]. В результате рекультивация сводится к созданию устойчивого растительного покрова на нарушенных территориях.

Формирование растительного сообщества на отвалах важно для предотвращения водной и ветровой эрозии, так как корневая система растений укрепляет склоны отвалов. Растения также задерживают осадки и уменьшают скорость поверхностного стока воды. Зарастание угольных отвалов предотвращает их горение и, как следствие, загрязнение атмосферного воздуха. Рекультивация, например сульфидных отвалов, способствует снижению образования кислых дренажных вод. Помимо этого, устойчивый растительный покров способствует накоплению органического вещества и питательных элементов в почвах отвалов [8].

Стимулирование развития растительного покрова происходит за счет внесения как удобрений [9], так и вторичных минеральных продуктов, образованных из отходов [10, 11]. Использование вторичных минеральных продуктов в качестве удобрений или раскислителей способствует реализации задач экономики замкнутого цикла.

Целью исследования являются изучение биологических свойств почв, образованных на отвалах, оценка эффективности применения вторичного минерального калийсодержащего продукта для повышения качества почв, образованных на угольных отвалах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Территория исследования – Кизеловский угольный бассейн (КУБ), расположенный в восточной части Пермского края. Площадь бассейна – около 1500 кв. км, месторождение растянулось в меридиональном направлении на 150 км вдоль западного склона Уральских гор. Добыча

велась около 200 лет, угольный бассейн ликвидирован в начале 2000-х годов. В настоящее время на территории КУБа насчитывается более 100 породных отвалов. Угли бассейна характеризуются высоким содержанием серы, в основном пиритной [12]. Вследствие этого отвалы являются источником кислых вод. Рекультивация отвалов за счет создания на поверхности отвала почвенного и растительного покрова уменьшает активную поверхность взаимодействия сульфидов, кислорода и воды, что снижает количество кислых дренажных вод.

Территория исследования относится к Уральской геохимической провинции элювиально-трансаллювиальной области остаточных горных массивов западного склона Среднего Урала, к Верхнеяйвинскому ландшафту высоких грядово-увалистых предгорий на палеозойских карбонатных и частично терригенных породах. Климат умеренно-континентальный, среднегодовое количество осадков – 700 мм. По почвенному районированию район относится к Западному предгорному району тяжелосуглинистых подзолистых, дерново-подзолистых и заболоченных почв. По ботанико-географическому районированию территория исследования принадлежит к средне- и южнотаежным предгорным пихтово-еловым и елово-пихтовым лесам. Фоновая почва представлена серогумусовой глинистой почвой.

Объекты исследования – техногенные поверхностные образования (литостраты глинистые). Литостраты образованы вследствие рекультивации отвалов путем выхолаживания верхушки и их засыпки глинистым материалом. Рекультивация отвалов выполнена в период с 2017 по 2020 г. Пробы отобраны на отвалах шахт Юбилейная (1-ю, 3-ю), Гореловская (4-г), Усьва (2-у), Нагорная (1-н). Мощность литостратов 20-40 см, они характеризуются наличием включений вскрышных пород. Устойчивый травянистый покров отмечен на двух отвалах из пяти изученных. Судя по всему, кроме отсыпки глинистого материала дополнительных мелиоративных мероприятий проведено не было. Восстановление растительности без мелиоративных мероприятий идет крайне медленно.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Актуальную и обменную кислотность почв определяли потенциометрическим методом. Содержание органического вещества определено спектрофотометрическим методом по ГОСТ 26213-91, емкость катионного обмена (ЕКО) – по методу Бобко–Аскинази-Алешина (ГОСТ 17.4.4.01-84). Характеристика растительности выполнена в полевых условиях.

Для изучения биологических свойств литостратов заложен опыт по фитотестированию. В качестве тест-культуры использован кресс-салата Lepidium sativum L. сорта Весенний. В качестве контрольного варианта кресс-салат выращивали на вермикулите с раствором Кнопа. Растения на почвах выращивали на трех вариантах опыта: без внесения добавок (К), с внесением удобрения «Азофоска» с микроэлементами (N16/P16/K16) из расчета 45 г на 1 кв. м (УД), с внесением вторичного минерального калийсодержащего продукта из расчета дозы внесения 2% (ВМП).

Рентгенофазовый анализ вторичного минерального продукта выполнялся с применением рентгеновского порошкового дифрактометра D2 Phaser (фирма «Bruker», ФРГ). Подвижный калий определен методом Кирсанова, основанным на экстракции подвижного калия из почвы 0,2М раствором HCl и его определении на пламенном фотометре.

Вторичный минеральный калийсодержащий продукт образован из глинисто-солевых отходов, на 40% он состоит из нерастворимого остатка. Состав ВМП согласно результатам минералогического анализа: калиево-полевые шпаты – 38,8%; кварц – 8,5%; плагиоклаз – 2,9%; слюда – 8,2%; хлорит – 8,9%; доломит – 13,6%; кальцит – 1,8%; гипс – 13,4%; галит – 2,9 %; сильвин – 1,0%. Реакция среды ВМП нейтральная (pHвод = 7,6), плотный остаток – 8,27%, характеризуется очень высокой обеспеченностью подвижным калием (около 20 г/кг).

Тест-культуру выращивали в течение 10 дней при температуре 25°С под фитолампами. В почвах после выращивания измерили pH водное и pH солевое, активность ферментов каталазы и инвертазы. Актуальную и обменную кислотность определяли потенциометрическим методом, активность каталазы – перманганатным методом Джонсона и Темпле, активность инвертазы – по методу Бертрана с последующим колориметрированием.

Программное обеспечение MS Exel, 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 ИССЛЕДОВАНИЯ

Кислотность почв на отвалах варьирует от кислой до слабокислой (*табл. 1*), что, судя по всему, связано как с наличием травянистой растительности, так и с включениями вскрышных пород и угля. Содержание органического вещества не превышает фоновый уровень, высокое количество органического вещества в литостратах 1-ю и 3-ю обусловлены наличием углистых частиц. Емкость катионного обмена средняя.

Внесение вторичного минерального калийсодержащего продукта в литостраты в условиях лабораторного эксперимента незначительно снижает как актуальную, так и обменную кислотность (*табл. 2*), также внесение ВМП снижает потребность литостратов в известковании. Это связано с нейтральной реакцией минерального продукта и высокого содержания хлорида калия. Добавка удобрения достоверно не изменяет кислотность. Известно, что внесение минеральных удобрений приводит к снижению кислотности почв [13], однако небольшая доза и однократное внесение в данном эксперименте не подтвердили данный факт.

Результаты фитотестирования показали, что высота и масса растений при внесении удобрений достоверно выше высоты и массы тест-культуры, выращенной на почвах контрольного варианта и при внесении ВМП (*рис. 1*).

Таблица 1

Свойства почв

Soil properties

Почва	pH водное	pH солевое	ОВ*, %	ЕКО, мг-экв/100 г	Характеристика растительности
Литострат 2-у	3,69	3,07	2,28	22	-
Литострат 1-н	4,34	3,72	3,92	28	--+
Литострат 4-г	5,85	4,71	1,95	37	+
Литострат 1-ю	4,4	3,81	4,85	34	--+
Литострат 3-ю	5,96	5,27	5,14	39	--+
Фон	4,92	3,85	5,14	24	++

*Примечание: *ОВ – органическое вещество; ** «-» – травянистая растительность практически отсутствует, наблюдаются единичные экземпляры; «--+» – травянистая растительность представлена фрагментарно, при этом площадь, покрытая растительностью, значительно меньше; «+» – отвал практически зарос, однако травянистое сообщество представлено в основном 2-3 видами; «++» – многовидовое травянистое сообщество.*

Таблица 2

Изменение кислотности литостратов

Changes in the acidity of lithostrats

Варианты	pH водное	pH солевое
Литостраты К	4,79±0,372	4,00±0,338
Литостраты ВМП	5,27±0,353	5,14±0,259
Литостраты УД	5,15±0,421	4,23±0,381

Примечание: К – почва без внесения удобрений; ВМП – внесение вторичных минеральных калийсодержащих продуктов; УД – внесение удобрений.

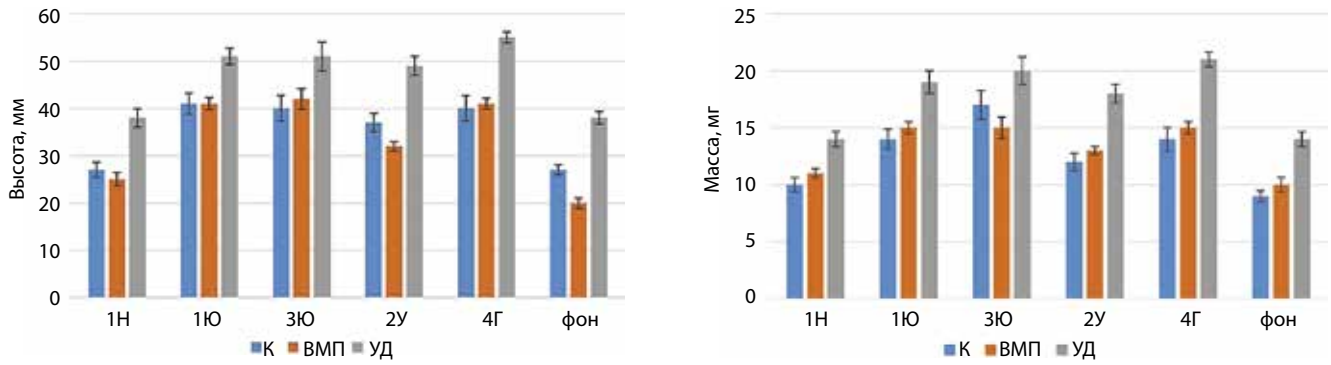


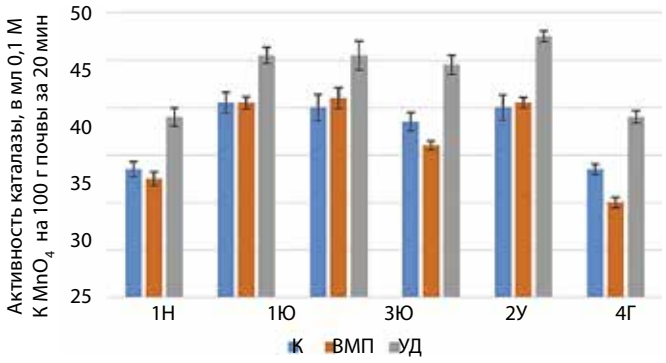
Рис. 1. Высота и масса тест-культуры на контрольном варианте и при внесении добавок

Fig. 1. Height and mass of the test culture in the control variant and when additives are added

Внесение удобрений обеспечило повышение высоты кресс-салата относительно растений на контроле на 18-50%, увеличение массы – на 24-40%. Отсутствие различий в высоте растений на контроле и при внесении ВМП может быть связано с высоким содержанием хлоридов. Однако следует отметить эффективность внесения ВМП, так, работа [11] показала, что внесение ВМП в дозах 400, 600, 800 кг/га на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений приводит к увеличению урожайности. В связи с низким плодородием литостратов внесение только одного вещества – калия в качестве удобрения, судя по всему, недостаточно для улучшения агрохимических свойств литостратов.

Высота и масса растений, выращенных на фоновой серогумусовой почве, меньше, чем показатели растений на литостратах. Достоверно, что увеличение высоты и массы растений на фоновой почве связано только с внесением удобрений.

Наиболее достоверными показателями биологического состояния почв являются почвенные ферменты и их активность, они участвуют в процессах разложения органического вещества и образования гумуса. Почвенные ферменты участвуют в биогеохимическом круговороте углерода, азота и фосфора в почве, что позволяет использовать их в качестве ранних чувствительных индикаторов изменений в почве [14]. Активность ферментов может быть использована в качестве индикаторов развития процессов восстановления почвы в промышленных районах [15]. Каталаза является чувствительным ферментом к изменению почвенных условий: температуры, кислотности, аэрации и др. [16]. Активность инвертазы зависит от содержания органи-



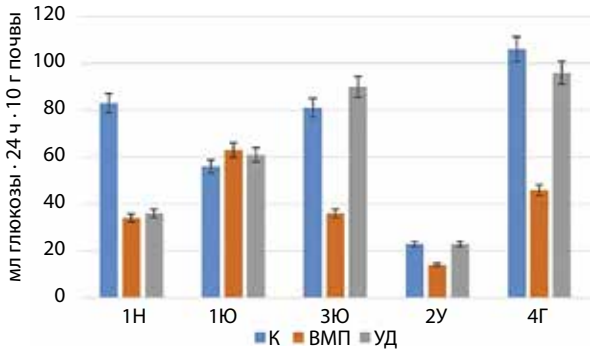


Рис. 2. Активность каталазы (слева) и инвертазы (справа)
Fig. 2. Catalase activity (left) and invertase activity (right)

ческого вещества и степени доступности кислорода для почвенных микроорганизмов [17].

Статистический анализ показал достоверные различия по активности каталазы между контрольным вариантом и вариантами с добавками (*рис. 2*).

Активность каталазы в литостратах 2-у и 4-г при внесении ВМП достоверно превышает контрольный вариант и вариант с внесением удобрений. В фоновой почве активность каталазы на контрольном варианте и при внесении удобрений соответствует показателям литострата 3-ю, тогда как активность каталазы при внесении ВМП составила 37 мл 0,1 М $KMnO_4$ на 100 г почвы за 20 мин.

Активность инвертазы в контрольных вариантах литостратов практически во всех почвах превышает данный показатель при внесении ВМП. Активность инвертазы в фоновой почве минимальна из всех исследуемых проб и варьируется от 23 до 29 мг глюкозы × 24 ч × 10 г почвы. Коэффициент регрессии (R^2 = 0,4) между обменной кислотностью и активностью каталазы свидетельствует о слабой связи показателей, связь обменной кислотности и активностью инвертазы средняя (R^2 = 0,6).

Корреляционный анализ между показателями свидетельствует о наличии средней связи между кислотностью и активностью ферментов: при увеличении кислотности активность ферментов снижается. Отмечается прямая средняя связь между активностью ферментов. Снижение активности ферментов при увеличении кислотности, судя по всему, связано с повышением подвижности микроэлементов. Ферменты являются хорошим индикатором наличия металлов в почве [18], в то же время литостраты КУБа характеризуются повышенным содержанием тяжелых металлов вследствие наличия во вскрышных породах сульфидных минералов [19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованные литостраты угольных отвалов характеризуются кислой реакцией, низким содержанием органического вещества. Биологическая активность литостратов находится на уровне фона, обеспеченность почвы ферментами низкая. Высота и масса кресс-салата, выращенного на литостратах, увеличиваются с внесением добавок в виде NPK удобрений. Наши результаты показали, что внесение ВМП в литостраты угольных отвалов должно быть дополнено внесением азотных и фосфорных удобрений. Методика по дозам внесения ВМП и NP-удобрений в литостраты отвалов будет дорабатываться.

Для восстановления растительного покрова на отвалах с целью снижения количества кислых дренажей и предотвращения эрозии после отсыпки глинистого экрана на поверхность отвалов необходимо проводить мелиоративные мероприятия: внесение удобрений, засев травами.

Список литературы • References

1. Feng Y., Wang J., Bai Z., Reading L. Effects of surface coal mining and land reclamation on soil properties: A review. *Earth-Science Reviews*. 2019;(191):12-25. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.02.015.
2. Jahan I., Reza A.H.M. S., Haque M.M., Reza Md.S., Hasan Md.I. Soil pollution and elemental sources along Barapukuria coal mine, Bangladesh: Implications for eco-environmental and health risk assessment. *Heliyon.* 2024;10(12):e32620. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32620.
3. Wang H., Zhang C., Ding Y., Li F., Liu W., Ma Y., Guo Y., Banerjee B., Li J. Spatiotemporal dynamics and key climatic influences on vegetation resilience in opencast coal mine dumps after restoration. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2025;(141):104646. https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104646.
4. Семина И.С., Андроханов В.А., Куляпина Е.Д. Опыт использования отходов углеобогащения для рекультивации нарушенных участков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 9. С. 159-175. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-159-175.
   Semina I.S., Androkhanov V.A., Kulyapina E.D. Experience of using coal enrichment waste for reclamation of disturbed areas. *Mining information and analytical bulletin*. 2020;(9):159-175. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-159-175.
5. Петрова Т.А., Рудзиш Э. Рекультивация техногенно-нарушенных земель с применением осадков сточных вод в качестве мелиорантов // Записки Горного института. 2021. Т. 251. С. 767-776. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.16.
   Petrova T.A., Rudzish E. Utilization of sewage sludge as an ameliorant for reclamation of technogenically disturbed lands. *Journal of Mining Institute*. 2021;(251):767-776. (In Russ.). DOI: 10.31897/PMI.2021.5.16.
6. Бондарчук Е.А., Ганнова Ю.Н. Биологическая рекультивация породных отвалов угольных шахт Донбасса с использованием осадка сточных вод / Материалы 5-й Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса». Донецк. 2019. Том 4. С. 101-105.

7. Блинов С.М., Меньшикова Е.А. Использование отходов предприятий Пермского края // Вестник Пермского университета. Геология (Науки о Земле). 2019. Том 18, № 2. С. 179-191.
Blinov S.M., Menshikova E.A. Utilisation the Industrial Wastes in Perm Region. *Bulletin of Perm University. Geology (Earth Sciences).* 2019;18(2):179-191. (In Russ.).
8. Angst G., Carsten W. Mueller, Šárka Angst, Martin Pivokonský, Jennifer Franklin, Peter D. Stahl, Frouz J. Fast accrual of C and N in soil organic matter fractions following post-mining reclamation across the USA. *Journal of Environmental Management.* 2018;(209):216-226. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.050.
9. Yuan Y., Zhao Z., Niu S., Bai Z. The reclaimed coal mine ecosystem diverges from the surrounding ecosystem and reaches a new self-sustaining state after 20-23 years of succession in the Loess Plateau area, China. *Science of The Total Environment.* 2020;(727):138739. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138739.
10. Агроэкологическая оценка эффективности отхода содового производства в качестве химического мелиоранта для известкования кислых почв / Н.И. Аканова, П.М. Орлов, И.В. Недосеко и др. // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 3(393). С. 301-305. DOI 10.55186/25876740_2023_66_3_301.
Akanova N.I., Orlov P.M., Nedoseko I.V., Zinatullin R.R. Efficiency of waste soda production as a lime reclamation agent for agriculture. *International Agricultural Journal*. 2023;3(393):301-305. (In Russ.). DOI: 10.55186/25876740_2023_66_3_301.
11. Агроэкологическая оценка эффективности применения глинисто-солевого шлама Усольского калийного комбината в агроценозах зерновых культур / Н.И. Аканова, Н.М. Троц, В.Б. Троц и др. // Плодородие. 2023. № 2. С. 71-75. DOI: 10.25680/S19948603.2023.131.16.
Akanova N.I., Trots N.M., Trots V.B., Stromskiy A.S., Stromskiy A.A. Agroecological assessment of the effectiveness of the use of clay-salt sludge of the Usolsky potash plant in agrocenoses of grain crops. *Plodorodie.* 2023;(2):71-75. (In Russ.) DOI: 10.25680/S19948603.2023.131.16.
12. Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2018. 288 с.
13. Некрасов Р.В., Овчаренко М.М., Аканова Н.И. Агроэкологические основы химической мелиорации почв // Земледелие. 2019. № 4. С. 3-7. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10401.
Nekrasov R.V., Ovcharenko M.M., Akanova N.I. Agroecological Foundation of Chemical Amelioration of Soils. *Zemledelie*. 2019;(4):3-7. (In Russ.). DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10401.
14. Liu C., Song Y., Dong X., Wang X., Ma X., Zhao G., Zang S. Soil enzyme activities and their relationships with soil C, N, and P in peatlands from different types of permafrost regions, Northeast China. *Frontiers in Environmental Science*. 2021;(9):456-468. DOI: 10.3389/fenvs.2021.670769.
15. 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*. 2015;(87):56-62. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.11.010.
16. Новоселова Е.И., Волкова О.О. Влияние тяжелых металлов на активность каталазы разных типов почв // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. С. 190-193.
Novoselova E.I., Volkova O.O. The influence of heavy metals on the activity of catalase of different types of soils. *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University.* 2017:190-193. (In Russ.)
17. Магда Е.В., Мазиров М.А., Зинченко М.К. Активность каталазы и инвертазы при различной интенсивности механической обработки почвы // Владимирский земледелец. 2022. № 2. С. 24-30. DOI: 10.24412/2225-2584-2022-2-24-30.
Magda E.V., Mazirov M.A., Zinchenko M.K. Activity of catalase and invertase by different tillage intensity soil. *Vladimir agricolist*. 2022;(2):24-30. (In Russ.) DOI: 10.24412/2225-2584-2022-2-24-30.
18. Багирова Ч.З. Воздействие тяжелых металлов на ферментативную активность почв г. Сумгаита // Аграрная наука. 2021. № 10. С.110-113. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-353-10-110-113.
Bagirova Ch.Z. The effect of heavy metals on the enzymatic activity of the soils of Sumgait. *Agrarian science.* 2021;(10):110-113. (In Russ.) DOI: 10.32634/0869-8155-2021-353-10-110-113.
19. Перевощикова А.А., Малышкина Е.Е., Митракова Н.В. Анализ микроэлементного состава почв рекультивированных отвалов Кизеловского угольного бассейна // Уголь. 2023;(12):85-91. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-85-91.
Perevoshchikova A.A., Malyshkina E.E., Mitrakova N.V. Analysis of the microelement composition of soils from recultivated coal dumps of the Kizel Coal Basin. *Ugol'.* 2023;(12):85-91. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790 2023-12-85-91.

Authors Information
Mitrakova N.V. – PhD (Biological), Senior Researcher, Natural Science Institute, Perm State National Research University, Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: mitrakovanatalya@mail.ru
Khairulina E.A. – Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Natural Science Institute, Perm State National Research University, Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: elenakhay@gmail.com
Sultanova N.S. – Student of the Faculty of Biology, Perm State National Research University, Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: natasulta777@gmail.com

Информация о статье
Поступила в редакцию: 5.08.2025
Поступила после рецензирования: 17.12.2025
Принята к публикации: 29.12.2025

Paper info
Received August 5, 2025
Reviewed December 17, 2025
Accepted December 29, 2025