УДК 502
DOI: 10.17277/voprosy.2026.02.pp.007-018

СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАРУШЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ ГИДРООТВАЛА ЛЕБЕДИНСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

© В. А. Здоровцов[1,2], Е. А. Пендюрин[2], А. В. Святченко[2]✉

[1] *ФГБУ «Государственный заповедник «Белогорье», Белгородская область, Российская Федерация;*
[2] *ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация*
✉ sv.anastasiaa@mail.ru

Ключевые слова: георешетка; горнорудная промышленность; железная руда; отходы; полезные ископаемые; почвосмесь; рекультивация; травосмесь.

Аннотация: Природно-техногенные системы, возникающие в результате человеческой деятельности, формируют антропогенные ландшафты – в основном за счет открытой добычи полезных ископаемых, сопровождающейся крупными карьерными выемками, насыпями и отвалами. Вопросы восстановления и рекультивации нарушенных территорий являются ключевыми для обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития общества. Наглядным примером такого процесса в Белгородской области служит территория гидроотвалов Лебединского горно-обогатительного комбината (ЛГОК), которая представляет собой сооружения для складирования пустых пород и отходов горно-обогатительного производства площадью около 330 га. Предложен способ восстановления техногенно-нарушенных земель ЛГОК. Экспериментальный участок был заложен в 2024 году, на котором апробировался способ восстановления нарушенных территорий с использованием объемной георешетки, искусственных почвосмесей и травосмеси. Экспериментально установлено увеличение процентов всхожести (до 3,3 раз) и закрепления растений (до 74 раз) по сравнению с контролем. Лучшие показатели приживаемости на экспериментальной почвосмеси отмечены у Пырея ползучего (*Elytrigia repens* L.) 97 %, Овсяницы луговой (*Festuca pratensis* Huds.) 88 % и Донника желтого (*Melilotus officinalis* L.) 83 %. Летом 2025 г. промышленные испытания проведены на участке гидроотвала ЛГОК площадью 0,5 га. Предварительные результаты показали эффективность применяемого способа.

Введение

Природно-техногенные системы представляют собой сложные взаимосвязи между природными и техническими объектами. Это взаимодействие может включать как преимущества, так и вызовы, такие как эффекты использования природных ресурсов, загрязнение окружающей среды, изменения в экосистемах, устойчивое развитие территорий. Такое понимание позволяет более эффективно управлять этими системами и минимизировать негативное воздействие на природу, создавая гармоничное сосуществование [1, 2]. Природно-техногенные системы, возникающие в результате человеческой деятельности, формируют антропогенные ландшафты, которые отличаются от естественных экосистем. Это может привести не только к ухудшению экологии, но и к потере биологического разнообразия, изменению гидрологического режима и другим негативным последствиям [3, 4].

Природные ландшафты представляют собой одно из ключевых национальных богатств, поскольку они не подлежат быстрому восстановлению. С развитием производительных сил, ростом численности населения и масштабным урбанистическим строительством во всем мире значимость ненарушенных природных территорий непрерывно возрастает [5, 6].

Современное научно-техническое развитие жилищно-гражданского строительства и добычи полезных ископаемых приводит к сокращению земельных ресурсов, включая сельскохозяйственные участки и рекреационно-досуговые зоны. Это создает проблему уменьшения доступных природных территорий и ухудшения экологической ситуации [7, 8]. В связи с этим рациональное преобразование таких земель включает:

– рекультивацию – восстановление почвенного покрова и растительности для возвращения функциональности территории [9];

– экологическую реабилитацию – улучшение состояния экосистем и снижение негативного воздействия на среду [10];

– организацию рекреационных зон – создание парков, заповедников и других объектов для отдыха и сохранения биоразнообразия [11].

Такое преобразование позволяет не только восстановить экологический баланс, но и обеспечить устойчивое развитие регионов, минимизировать негативное воздействие промышленной деятельности и, как следствие, эффективно использовать ограниченные земельные ресурсы. Вопросы восстановления нарушенных территорий являются ключевыми для обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития общества [12]. Глобальное ежегодное увеличение площадей, требующих восстановления, повышает значимость рекультивации техногенно нарушенных территорий [13].

Массированные нарушения территорий в основном связаны с открытой добычей полезных ископаемых, которая характеризуется образованием крупных карьерных выемок, а также накоплением насыпей и отвалов. Эти процессы значительно изменяют ландшафт и уменьшают площадь пригодных для других целей земель [14].

Отходы горнорудной промышленности формируют полигоны, шламо- и хвостохранилища, объем которых может достигать нескольких милли-

ардов кубических метров [15, 16]. Согласно типовым технологическим нормам, отвалы металлургических комбинатов проектируются из расчета 10 т отходов на 1 м^2 при высоте дамбы 5…10 м, что приводит к занятию земель площадью свыше тысячи гектаров. Это подчеркивает необходимость рациональной рекультивации и эффективного использования нарушенных территорий для минимизации экологического ущерба.

Нормативная и специальная литература не в полной мере раскрывает возможности поливариантного использования нарушенных территорий и не решает вопрос выбора их функционального назначения. Следовательно, такие земли требуют комплексных мероприятий по рекультивации и восстановлению природных и хозяйственных функций.

По данным Росреестра, на конец 2023 г. общая площадь нарушенных земель в Российской Федерации составила 1138,8 тыс. га, что превышает показатель 2022 г. на 42,0 тыс. га. Это свидетельствует о продолжающемся росте площадей земель, утративших хозяйственную ценность и негативно влияющих на окружающую среду.

В Белгородской области насчитывается 328 карьеров открытого типа. Из них 84 карьера уже добыты (то есть их эксплуатация завершена), 176 карьеров заброшены, что создает дополнительные экологические и ландшафтные проблемы [17].

Данная информация указывает на необходимость активных мер по рекультивации и контролю за состоянием нарушенных земель, особенно в регионах с активной карьерной деятельностью. Наглядным примером такого процесса в Белгородской области служит территория гидроотвалов Лебединского горно-обогатительного комбината (**ЛГОК**), представляющая собой сооружения для складирования пустых пород и отходов обогащения площадью 330 га. Она граничит с особо охраняемой природной территорией федерального значения – заповедным участком «Ямская степь» заповедника «Белогорье». «Ямская степь» – это эталон естественных степных биоценозов юга среднерусской возвышенности и в настоящее время испытывает сильное антропогенное воздействие [18].

Восстановительные работы играют ключевую роль в интеграции нарушенных земель в природную среду. Для решения этой задачи необходимо оценить эффективность способа рекультивации с учетом их экологической результативности, стоимости и технической осуществимости, учитывать факторы, влияющие на успех восстановления, а именно тип почв, климатические условия, степень нарушения экосистемы, доступность ресурсов и технологий. Провести сравнительный анализ, чтобы выбрать программу рекультивации с наименьшими затратами и наилучшей отдачей, обеспечить системный подход, включающий мониторинг и корректировку мероприятий по мере реализации.

Таким образом, грамотный выбор и сочетание методов рекультивации с учетом ключевых факторов позволяет повысить качество восстановительных работ и интегрировать нарушенные земли обратно в природный ландшафт эффективно и экономически целесообразно.

Цель работы – провести промышленную апробацию разработанного способа рекультивации с использованием искусственно созданной почвосмеси для восстановления естественного растительного покрова на гидроотвалах ЛГОК.

Материалы и методы исследований

Объект исследования – гидроотвал ЛГОК, который представляет собой техногенно нарушенную территорию, сформированную в результате складирования отходов обогащения железной руды гидравлическим способом.

Технология посева травосмеси на рекультивируемой поверхности гидроотвала реализовывалась в следующей последовательности. Сначала поверхность гидроотвала предварительно выравнивалась. На подготовленное основание укладывалась и закреплялась объемная георешетка с ячеистой структурой. Она служила для стабилизации грунта и предотвращения эрозии. Ячейки георешетки на одну треть их высоты заполнялись специально подготовленной почвосмесью (первый слой), обеспечивающей питательную среду для растений. Поверх первого слоя грунта равномерно распределялась травосмесь (100 семян каждого вида в одной ячейке), подобранная с учетом специфических условий техногенного ландшафта. Семена травосмеси укрывались сверху вторым слоем почвосмеси до полного заполнения ячеек георешетки, что обеспечивало оптимальный контакт семян с грунтом и защиту от выдувания. Контрольный участок был засеян по упрощенной технологии: непосредственно на выровненную поверхность гидроотвала без применения георешетки и с использованием той же травосмеси.

Оценка приживаемости растений проводилась путем расчета коэффициента выживаемости. На первом этапе, в начале сезона, выполнялся учет количества проросших всходов на пробных площадках. На втором этапе, по завершении сезона, определялось число сохранившихся особей. Приживаемость рассчитывалась как процентное отношение конечного числа растений к исходному количеству всходов.

Для определения средней высоты растений проводили измерения всех экземпляров на исследуемом участке. Затем вычисляли среднее арифметическое полученных значений.

Результаты и их обсуждения

В ходе проведения работ на территории гидроотвала горно-обогатительного комбината отрабатывались различные способы биологической рекультивации техногенно нарушенных ландшафтов, направленные на восстановление территории, повышение продуктивности угодий, возобновление флоры, а также устранение негативного влияния нарушенных земель на окружающую среду. Известно, что почвогрунты на нарушенных участках часто непригодны для растительности и нуждаются в формирование благоприятного почвенного субстрата, а также в подборе ассортимента видов растений в зависимости от свойств субстрата и направления рекультивации.

Первый экспериментальный участок, где апробировался способ восстановления нарушенных территорий с использованием объемной георешетки, был заложен весной 2024 г. (рис. 1). Применение георешетки позволяет эффективно снижать ветровую эрозию и испарение влаги, обеспечивая оптимальный гидробаланс для развития растительности. Согласно ранее

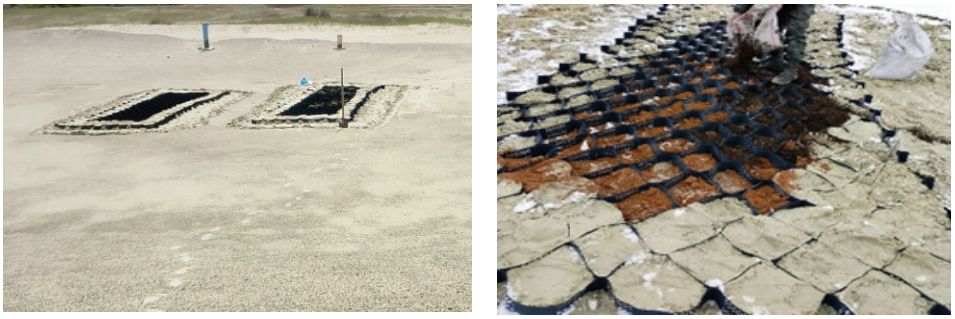

Рис. 1. Этап закладки эксперимента (апрель 2024 г.)

проведенным лабораторным исследованиям [17, 19] установлены лучшие показатели продуктивности почвосмеси, которые использовали в данном этапе эксперимента. Компонентный состав почвосмеси [20] следующий: суглинки, песок, глина и цитрогипс – по 20 %, растительные остатки в виде листьев и травы, отходы мокрой магнитной сепарации и зоокомпост – по 10 %. Компонентный состав травосмеси представлен в табл. 1. Травосмесь была подобрана с учетом видового состава, характерного для прилегающей ненарушенной территории, а также с ориентацией на адаптированность к условиям применяемого искусственного почвенного слоя. Расход травосмеси составил 140 кг/га.

На рисунке 2 представлены всходы осенью 2024 г. После получения первичных положительных результатов проведены исследования, направленные на возможность применения различных составов почвосмесей на техногенно нарушенных ландшафтах.

Следующая серия эксперимента была заложена весной 2025 г. Результаты представлены в табл. 2, где показано, что на контроле процент закрепления растений равен 1, тогда как на различных составах он увеличился на 35 – 74 %. Из полученных данных лучшие показатели показала экспериментальная почвосмесь. Результаты приживаемости каждого вида растений на этом экспериментальном участке представлены в табл. 3.

Таблица 1

Компонентный состав травосмеси

Название	Количество, %
Бобовые, из них:	37
Донник желтый (*Melilotus officinalis* L.)	29
Донник белый (*Melilotus albus* Medik.)	29
Эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria)*	42
Злаковые, из них:	63
Ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.)	25
Кострец безостый (*Bromus inermis* Leyss.)	15
Овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.)	25
Овсяница красная (*Festuca rubra* L.)	20
Тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.)	14
Пырей ползучий (*Elytrigia repens* L.)	1



Рис. 2. Закрепление всходов с использованием экспериментальной почвосмеси и георешетки (октябрь 2024 г.)

Таблица 2

Подбор почвосмеси

Составы почвосмесей	Всходы семян, %, на июль 2025 г.	Закрепление растений, %, на октябрь 2025 г.	Средняя высота растений, см
Исходный опытный участок – гидроотвал, без георешетки (контроль)	25	1	2
Исходный опытный участок – гидроотвал, с георешеткой	50	35	8
Чернозем 50 %, глина 50 %, георешетка	80	60	12
Компост 50 %, глина 50 %, георешетка	82	63	13
Экспериментальная почвосмесь, георешетка	82	74	15

Таблица 3

Оценка приживаемости растений на экспериментальной почвосмеси

Растение	Всходы семян, %, на июль 2025 г.	Закрепление растений, %, на октябрь 2025 г.	Средняя высота растений, см
1	2	3	4
Донник желтый (*Melilotus officinalis* L.)	80	83	28
Донник белый (*Melilotus albus* Medik.)	95	45	28
Эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria)*	50	72	10

Продолжение табл. 3

1	2	3	4
Ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.)	65	77	10
Кострец безостый (*Bromus inermis* Leyss.)	67	79	15
Овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.)	76	88	10
Овсяница красная (*Festuca rubra* L.)	78	54	7
Тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.)	83	71	10
Пырей ползучий (*Elytrigia repens* L.)	87	97	15



Рис. 3. Результат промышленных испытаний (октябрь 2025 г.)

В ходе положительной динамики закрепления растений на гидроотвале руководством горно-обогатительного комбината одобрен этап закладки промышленных испытаний. В июле 2025 г. на территории гидроотвала площадью 0,5 га была засеяна территория травосмесью с использованием экспериментальной почвосмеси и георешетки. Фото результата эксперимента на осень 2025 г. представлено на рис. 3.

Заключение

Анализ результатов показывает более высокую приживаемость семян растений при использовании комплекса мер, а именно применения травосмеси в сочетании с георешеткой. Экспериментально установлено, что при использовании георешетки происходило увеличение процента всхожести (в 2 раза) и закрепления растений (в 30 раз) при сравнении с исходным участком без применения почвосмесей. При использовании различных составов почвосмесей увеличились проценты всхожести и закрепле-

ния растений, что позволило обеспечить большую приживаемость растительных сообществ на нарушенной территории. Лучшие результаты показала экспериментальная почвосмесь. Увеличение процента всхожести произошло в 3,3 раза, закрепления растений – в 74 раза по сравнению с контролем. Лучшие показатели приживаемости на экспериментальной почвосмеси отмечены у Пырея ползучего (*Elytrigia repens L.*) 97 %, Овсяницы луговой (*Festuca pratensis* Huds.) 88 % и Донника желтого (*Melilotus officinalis L.*) 83 %. Применение георешетки повышает шансы для закрепления растительного покрова по сравнению с контрольным участком. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности внедрения предложенной технологии в практику рекультивации нарушенных земель и создания устойчивых фитоценозов на нарушенных территориях.

Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

Список литературы

1. Technological and Economic Analysis of Electrokinetic Remediation of Contaminated Soil: A Global Perspective and its Application in Indian Scenario / J. Akansha, S. Thakur, M.S. Chaithanya, B. S. Gupta, S. Das, B. Das, N. Rajasekar, K. Priya // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, No. 2. – Art. e24293. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e24293

2. Ермолаева, С. В. Природно-ландшафтная дифференциация и природная устойчивость экосистем региона / С. В. Ермолаева, Б. И. Кочуров // Экология урбанизированных территорий. – 2024. – №1. – С. 23–30. doi: 10.24412/1816-1863-2024-1-23-30

3. Пряничникова, Е. В. Эколого-геохимические исследования в горнорудных районах (на примере Северной Осетии) / Е. В. Пряничникова // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2005. – №2. – С. 48–53.

4. Овсяник, А. И. Экологическая безопасность как фактор устойчивости территории / А. И. Овсяник, Н. А. Сергеенкова // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2025. – № 4. – С. 109–117. doi: 10.25257/FE.2025.4.109-117

5. Cultural Values of landscapes in the practical work of biosphere reserves / I. Eliasson, S. Fredholm, I. Knez, E. Gustavsson, J. Weller // Land. – 2023. – Vol. 12, Iss. 3. – Art. 587. doi: 10.3390/land12030587

6. Влияние добычи оловорудного сырья на речной сток малых рек горнопромышленных районов / Н. К. Растанина, Д. А. Голубев, Н. А. Каюмов, П. Л. Растанин, И. А. Попадьев // Горные науки и технологии. – 2025. – Т. 10, № 4. – С. 369–378. doi: 10.17073/2500-0632-2025-04-392

7. Колокольцева, А. В. Проблемы обеспечения геологической разведкой экономической оценки месторождений полезных ископаемых / А. В. Колокольцева // Московский экономический журнал. – 2024. – № 4. – С. 97–107. doi: 10.55186/2413046X_2024_9_4_192

8. Результаты работ по восстановительной экологии и охране окружающей среды при производстве открытых горных работ на месторождениях угля в Австралии по данным спутниковой съемки / И. В. Зеньков, Ле Х. Чинь, Г. И. Карачева [и др.] // Уголь. – 2023. – № 11(1173). – С. 125–128. doi: 10.18796/0041-5790-2023-11-125-128

9. Технология проведения рекультивации нарушенных земель на примере песчаного карьера в Западно-Сибирском северо-таежном равнинном лесном районе / Е. П. Розинкина, К. А. Башегуров, В. С. Котова, Р. А. Осипенко // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 4(80). – С. 81–87. doi: 10.48012/1817-5457_2024_4_81-87

10. Малышев, В. П. Возможные направления оптимизации состава мероприятий при ликвидации долговременных последствий крупномасштабных чрезвычайных ситуаций / В. П. Малышев, О. В. Виноградов // Технологии гражданской безопасности. – 2020. – Т. 17, № 3(65). – С. 15–20. doi: 10.54234/CST.19968493.2020.17.3.65.3.15

11. Иванов, А. С. Разработка инновационных методов восстановления и сохранения биоразнообразия в антропогенно нарушенных экосистемах / А. С. Иванов, Е. Д. Смирнова // Вопросы природопользования. – 2024. – Т. 3, № 9. – С. 48–59. doi: 10.25726/g6773-1726-2207-t

12. Волков, А. Д. Анализ рекультивируемых и нарушенных земель при разработке карьеров / А. Д. Волков, П. Ю. Несмачный, Д. А. Китаев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2025. – № 4. – С. 19–22. doi: 10.32962/0235-2524-2025-4-19-22

13. Даниленко, Е. П. Рекультивация нарушенных земель и устранение накопленного вреда окружающей среде города Белгород / Е. П. Даниленко, А. А. Акулова, О. Н. Барышенская // Вектор ГеоНаук. – 2020. – Т. 3, № 1. – С. 62–70. doi: 10.24411/2619-0761-2020-10007

14. Антоненко, Л. К. Наземные хвостохранилища каскадного типа как реальные источники техногенных катастроф. Причины и следствия Качканарской аварии / Л. К. Антоненко, В. Г. Зотеев, М. Г. Морозов // Горный журнал. – 2000. – № 10. – С. 48–52.

15. Исследование возможностей комплексной переработки отходов предприятий энергетики Приморского края / Е. И. Шамрай, А. В. Таскин, С. И. Иванников, А. А. Юдаков // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 3. – С. 68–75.

16. Гальперин, А. М. Технологии экологически безопасного освоения намывных техногенных массивов на горных предприятиях / А. М. Гальперин, Т. В. Тищенко, С. Н. Жилин // Геоэкология. – 2005. – № 2. – С. 99–110.

17. Реставрационно-ландшафтное восстановление нарушенных территорий / Е. А. Пендюрин, Ж. А. Сапронова, А. В. Святченко, В. А. Здоровцов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2024. – № 2(92). – С. 44–52. doi: 10.17277/voprosy.2024.02.pp.044-052

18. Алексеенко, Н. А. Картографирование геохимического загрязнения Ямской степи Лебединским горно-обогатительным комбинатом / Н. А. Алексеенко, А. А. Медведев, Т. В. Михайлова // Интеркарто. Интергис. – 2014. – Т. 20. – С. 312–318. doi: 10.24057/2414-9179-2014-1-20-312-318

19. Пендюрин, Е. А. Использование искусственной почвосмеси для восстановления нарушенных территорий / Е. А. Пендюрин, А. В. Святченко, Н. Ю. Кирюшина // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2022. – № 2(34). – С. 130–136.

20. Патент № 2819792 C1 Российская Федерация, МПК B09C 1/00 (2006.01), C05F 17/05 (2020.01). Способ восстановления техногенно-нарушенных урбанизированных земель : № 2023130587 : заяв. 23.11.2023 : опубл. 24.05.2024 / Пендюрин Е. А. ; заявитель и патентообладатель ГБОУ ВО «БГИИК». – Бюл. № 15. – 8 с.

References

1. Akansha J., Thakur S., Chaithanya M.S., Gupta B.S., Das S., Das B., Rajasekar N., Priya K. Technological and Economic Analysis of Electrokinetic Remediation of Contaminated Soil: A Global Perspective and its Application in Indian Scenario, *Heliyon*, 2024, vol. 10, no. 2, art. e24293. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e24293

2. Ermolaeva S.V., Kochurov B.I. [Natural-Landscape Differentiation and Natural Resilience of Regional Ecosystems], *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of Urbanized Territories], 2024, no. 1, pp. 23-30. doi: 10.24412/1816-1863-2024-1-23-30 (In Russ., abstract in Eng.)

3. Pryanishchikova E.V. [Ecological and geochemical studies in mining areas (on the example of North Ossetia)], *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4. Geologiya* [Bulletin of Moscow University. Series 4. Geology], 2005, no. 2, pp. 48-53. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Ovsyanik A.I., Sergeenkova N.A. [Environmental safety as a factor in the sustainability of the territory], *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya* [Fires and emergencies: prevention, liquidation], 2025, no. 4, pp. 109-117. doi: 10.25257/FE.2025.4.109-117 (In Russ., abstract in Eng.)

5. Eliasson I., Fredholm S., Knez I., Gustavsson E., Weller J. Cultural Values of landscapes in the practical work of biosphere reserves, *Land*, 2023, vol. 12, iss. 3, art. 587. doi: 10.3390/land12030587

6. Rastanina N.K., Golubev D.A., Kayumov N.A., Rastanin P.L., Popad'ev I.A. [The Impact of Tin Ore Mining on the Runoff of Small Rivers in Mining Regions], *Gornye nauki i tekhnologii* [Mining Sciences and Technologies], 2025, vol. 10, no. 4, pp. 369-378. doi: 10.17073/2500-0632-2025-04-392(In Russ., abstract in Eng.)

7. Kolokol'tseva A.V. [Problems of Providing Geological Exploration for Economic Assessment of Mineral Deposits], *Moskovskiy ekonomicheskiy zhurnal* [Moscow Economic Journal], 2024, no. 4, pp. 97-107. doi: 10.55186/2413046X_2024_9_4_192 (In Russ., abstract in Eng.)

8. Zen'kov I.V., Chin' Le Kh., Karacheva G.I. [et al.], [Results of Work on Restorative Ecology and Environmental Protection in Open-Pit Mining at Coal Deposits in Australia Based on Satellite Imagery Data], *Ugol'* [Coal], 2023, no. 11(1173), pp. 125-128. doi: 10.18796/0041-5790-2023-11-125-128 (In Russ., abstract in Eng.)

9. Rozinkina E.P., Basheguro v K.A., Kotova V.S., Osipenko R.A. [Technology of reclamation of disturbed lands on the example of a sand quarry in the West Siberian north-taiga flat forest region], *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy], 2024, no. 4(80), pp. 81-87. doi: 10.48012/1817-5457_2024_4_81-87 (In Russ., abstract in Eng.)

10. Malyshev V.P., Vinogradov O.V. [Possible directions for optimizing the composition of measures in the elimination of long-term consequences of large-scale emergency situations], *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti* [Civil Security Technologies], 2020, no. 3(65), pp. 15-20. (In Russ., abstract in Eng.)

11. Ivanov A.S., Smirnova E.D. [Development of Innovative Methods for Restoring and Preserving Biodiversity in Anthropogenically Disturbed Ecosystems], *Voprosy prirodopol'zovaniya* [Issues of Nature Management], 2024, vol. 3, no. 9, pp. 48-59. doi: 10.25726/g6773-1726-2207-t (In Russ., abstract in Eng.)

12. Volkov A.D., Nesmachnyy P.Yu., Kitaev D.A. [Analysis of reclaimed and disturbed lands during quarrying], *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], 2025, no. 4, pp. 19-22. doi: 10.32962/0235-2524-2025-4-19-22 (In Russ., abstract in Eng.)

13. Danilenko E.P., Akulova A.A., Baryshenskaya O.N. [Reclamation of disturbed lands and elimination of accumulated damage to the environment of the city of Belgorod], *Vektor GeoNauk* [Vector GeoSciences], 2020, vol. 3, no. 1, pp. 62-70. doi: 10.24411/2619-0761-2020-10007 (In Russ., abstract in Eng.)

14. Antonenko L.K., Zoteev V.G., Morozov M.G. [Aboveground Cascade Tailings Ponds as Real Sources of Man-Made Disasters. Causes and Consequences of the Kachkanar Accident], *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], 2000, no. 10, pp. 48-52. (In Russ., abstract in Eng.)

15. Shamray E.I., Taskin A.V., Ivannikov S.I., Yudakov A.A. [Study of the Possibilities of Integrated Processing of Waste from Energy Enterprises of Primorsky Krai], *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern Science-Intensive Technologies], 2017, no. 3, pp. 68-75. (In Russ., abstract in Eng.)

16. Gal'perin A.M., Tishchenko T.V., Zhilin S.N. [Technologies for environmentally safe development of alluvial man-made massifs at mining enterprises], *Geoekologiya* [Geoecology], 2005, no. 2, pp. 99-110. (In Russ., abstract in Eng.)

17. Pendyurin E.A., SapronovaZh.A., Svyatchenko A.V., Zdorovtsov V.A. [Restoration and landscape restoration of disturbed territories], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo* [Issues of modern science and practice. Vernadsky University], 2024, no. 2(92), pp. 44-52. doi: 10.17277/voprosy. 2024.02.pp.044-052(In Russ., abstract in Eng.)

18. Alekseenko N.A., Medvedev A.A., Mikhaylova T.V. [Mapping of geochemical pollution of the Yamskaya steppe by the Lebedinsky mining and processing plant], *Interkarto. Intergis* [Interkarto. Intergis], 2014, vol. 20, pp. 312-318. doi: 10.24057/2414-9179-2014-1-20-312-318 (In Russ., abstract in Eng.)

19. Pendyurin E.A., Svyatchenko A.V., Kiryushina N.Yu. [Use of artificial soil mixture for restoration of disturbed territories], *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy* [Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects], 2022, no. 2(34), pp. 130-136. (In Russ., abstract in Eng.)

20. Pendyurin E.A. *Sposob vosstanovleniya tekhnogenno-narushennykh urbanizirovannykh zemel'* [Method of restoration of man-made disturbed urbanized lands], Russian Federation, 2024, Pat. 2819792. (In Russ.)

A Method for Restoring the Damaged Territory of Hydraulic Dump at Lebedinsky Mining and Processing Plant

© V. A. Zdorovtsov[1,2], E. A. Pendyurin[2], A. V. Svyatchenko[2]✉

[1] *SNR "Belogorye", Belgorod Region, Russian Federation;*
[2] *Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation*
✉ sv.anastasiaa@mail.ru

Keywords: geogrid; mining industry; iron ore; waste; minerals; soil mixture; reclamation; grass mixture.

Abstract: Natural and man-made systems resulting from human activity shape anthropogenic landscapes, primarily through open-pit mining, accompanied by large quarries, embankments, and waste heaps. Restoration and reclamation of disturbed areas are key to ensuring environmental safety and sustainable development. A prime example of this process in the Belgorod Region is the Lebedinsky Mining and Processing Plant (LMPP) waste heaps, which comprise a storage facility for waste rock and mining waste covering an area of approximately 330 hectares. A method for restoring the man-made lands of the LMPP is proposed. The experimental site was established in 2024, where a method for restoring disturbed areas using a volumetric geogrid, artificial soil mixtures, and grass mixtures was tested. Experiments have shown an increase in germination rates (up to 3.3 times) and plant establishment (up to 74 times) compared to the control. The best survival rates in the experimental soil

mixture were observed for creeping wheatgrass (*Elytrigia repens* L.) (97 %), meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.*)* (88%), and yellow sweet clover (*Melilotus officinalis* L.) (83 %). In the summer of 2025, industrial trials were conducted on a 0.5-hectare section of the LMPP waste dump. Preliminary results demonstrated the effectiveness of the method.

Сведения об авторах

Здоровцов Вадим Александрович – заместитель директора по экологическому просвещению и развитию познавательного туризма ФГБУ «Государственный заповедник «Белогорье», Белгородская область, Российская Федерация; аспирант кафедры «Промышленная экология», ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация; ORCID 0009-0006-0463-6040; e-mail: zdorowtzov.vadim@yandex.ru

Пендюрин Евгений Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры «Промышленная экология», ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация; ORCID 0000-0003-4826-3654; e-mail: pendyrinea@yandex.ru

Святченко Анастасия Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленная экология», ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-2758-884X; e-mail: sv.anastasiaa@mail.ru

About the author

Vadim A. Zdorovtsov – Deputy Director for Environmental Education and Development of Educational Tourism, SNR “Belogorye”, Belgorod, Russian Federation; Postgraduate Student of the Department “Industrial Ecology”, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation; ORCID 0009-0006-0463-6040; e-mail: zdorowtzov.vadim@yandex.ru

Evgeniy A. Pendyurin – Cand. Sc. (Agr.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Ecology, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation; ORCID 0000-0003-4826-3654; e-mail: pendyrinea@yandex.ru

Anastasia V. Svyatchenko – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Ecology, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation; ORCID 0000-0002-2758-884X; e-mail: sv.anastasiaa@mail.ru

© Здоровцов В. А., Пендюрин Е. А., Святченко А. В., 2026. Данная статья находится в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии Creative Commons Attribution (CC BY) https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/