ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2026, том 10, № 3, с. 123-131

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ, ПОДДЕРЖАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 622.7-027.32

БИОТЕХНОЛОГИИ В ВОССТАНОВЛЕНИИ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ И УТИЛИЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТНЫХ ОТВАЛОВ

© 2026 г. Д.А. Достовалова*, А.З. Глухов*, Н.С. Подгородецкий**

**Донецкий ботанический сад,*
Россия, 283023, г. Донецк, пр. Ильича, д. 110

***Донбасская национальная академия строительства и архитектуры*
Россия, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2. E-mail: dasha.dostovalova1997@mail.ru

Поступила в редакцию 19.05.2026. После доработки 01.06.2026. Принята к публикации 01.09.2026.

В статье исследованы возможности использования растений-гипераккумуляторов в восстановлении антропогенно нарушенных экосистем, в частности, угольных шахтных отвалов. Разработана комплексная установка по сепарации редких, редкоземельных и тяжелых металлов с использованием растений-гипераккумуляторов.

В ходе исследования использовались обзорные, аналитические, расчетные, графические методы. В качестве объектов исследования были в первую очередь выбраны угольные отвалы, находящиеся в черте городов Донецкой Народной Республики (Донецк, Макеевка, Шахтерск, Снежное и т.д.) с перспективой применения предложенной технологии для всех угольных отвалов Российской Федерации. В эксперименте за образец взяты результаты анализа химического состава породы отвалов шахты им. М.И. Калинина (плоский, действующий горящий, частично рекультивированный) и ЦОФ «Чумаковская» (г. Донецк; конические, перегоревшие, не рекультивированные).

В ходе эксперимента, проведенного в отделении анализа наноструктур инжинирингового центра «Политехник» Донецкого национального технического университета, были задействованы следующие приборы: система напыления углерода C156TE (установка напыления углерода с турбомолекулярным насосом для пробоподготовки исследований методами электронной микроскопии) и WIN SEM A7000 сканирующий электронный микроскоп. Были получены результаты химического состава отдельных микрозон образцов породы. Статистические результаты получены с использованием программы Statistica.

В ходе статистической обработки результатов исследований установлено, что для породы отвалов процентное содержание элементов в среднем составляет 0.005 (стандартное отклонение составляет 0.001). Разность между двумя средними значениями этих двух зависимых групп составляет 0.012 (стандартное отклонение – 0.018). Значение t-критерия Стьюдента составляет 2.05. Различия в процентном содержании элементов в породе отвалов статистически достоверны на высоком уровне значимости ($p = 0.052$).

Высокое содержание алюминия обусловлено процессами разрушения горных пород, алунитизации и выветривания. Также отвалы характеризуются высоким содержанием железа (от 10 до 50%) со следовыми количествами титана, меди, натрия и свинца.

Таким образом, целесообразной является сепарация металлов из породы, в первую очередь – железа, алюминия и свинца. Для вытяжки металлов из угольного отвала можно также использовать растения-гипераккумуляторы (рапс озимый/яровой, люпин, горчица обыкновенная). Процесс будет включать посадку семян растений на склонах и плато отвала, защиту их от вредителей, сбор биомассы и ее дальнейшую обработку. В процессе сепарации металлов из отвальной породы по этой авторской технологической схеме используются следующие лабораторные приборы: сито механическое, ступка фарфоровая, муфельная печь с максимальной температурой нагрева 1200°C и кислотный выщелачиватель (агитатор). Подготовка исходной пробы породы включает в себе две операции: классификация и озоление.

Классификация исходного материала выполняется при помощи сита механического двух фракций: 40 и 25 мкм. Далее растительные пробы измельчаются в фарфоровой ступке. Озоление проб проходит в муфельной печи при температуре 400-500℃ на протяжении 120-240 мин. После чего происходит выщелачивание металлов с использованием лабораторного агитатора. Выход: пульпа с концентратом металлов.

Состояние окружающей среды в ДНР, ЛНР и угледобывающих регионах России, сопряженное с дефицитом сырьевых ресурсов, обуславливает необходимость внедрения на практике технологической схемы утилизации угольных отвалов с использованием сита механического, ступки фарфоровой, муфельной печи и кислотного выщелачивателя (агитатора). Данный способ может включать посадку растений-гипераккумуляторов на склонах и плато отвала, уход за ними, сбор, озоление биомассы и вытяжку из нее металлов.

Ключевые слова: утилизация, сырьевой ресурс, породный отвал, растение-гипераккумулятор
DOI: 10.24412/2542-2006-2026-3-123-131
EDN: AELDYK

Горнодобывающая отрасль в Российской Федерации имеет одно из ключевых стратегических значений для экономики страны. Занимая лидирующие позиции в мире по запасам угля и других полезных ископаемых, Россия выступает важным экспортером на международном рынке. Крупнотоннажные отходы и их складированные отвалы являются составляющей процесса подземной добычи угля и важным негативным фактором, оказывающим воздействие на окружающую среду, которое выражается в активном выбросе продуктов горения, пыли и других частиц, изъятии земель сельскохозяйственного пользования, смыве загрязненных сточных вод с поверхности, эрозии склонов и т.д. Для его минимизации необходимо утилизировать отвальную породу. Наиболее экономически перспективный способ утилизации – это использование отвальной породы в качестве сырьевого ресурса. Это позволит повысить экономическую эффективность государства и экологизировать промышленное производство (Харламова, Верех-Белоусова, 2025; Крутько, 2011; Плакиткина и др., 2025; Шаповалов, Козырь, 2023; Павлова, Зубов, 2025).

Согласно данным Министерства угля и энергетики ДНР, на территории республики расположено 798 породных отвалов, 144 из которых находятся на территории г. Донецк, 118 – г. Макеевка, 69 – г. Шахтерск, 67 – в г. Торез. Из них 57 действующих горящих, 391 – потухший, 120 – озелененных, около 200 – самозаросших. Очаги горения возникают на отвалах зачастую вследствие нарушения технологии формирования, недостаточного уплотнения породной массы, отсутствия или некачественной укладки изолирующего слоя. При соблюдении технологии формирования отвалов вероятность возгорания очень низкая. В среднем доля вклада отвалов в промышленные выбросы составляет всего 6.7%, но зато при горении из отвалов выделяются наиболее токсичные газообразные вещества (сероводород, сернистый ангидрид, оксиды азота и углерода; Арбузов и др., 2000).

На территории Луганской Народной Республики в общей сложности расположены около 556 породных отвалов, из которых 99 – действующие горящие, с ежегодным выбросом более 500 тыс. т вредных газовых и пылевых веществ. Площадь, занимаемая отвалами, составляет около 56 га, а объем складированной породы – около 69 млн. м^3 (Тарасова, 2023).

В Ростовской области в то же время официально подтверждено наличие 452 породных отвалов, в Тульской области – 168, на территории Подмосковного угольного бассейна – более 150 шахтных породных. Сотни отвалов находятся на территории Кузнецкого угольного бассейна, Кизеловского, Челябинского, Печорского, Южноуральского буроугольных бассейнов (Баталов и др., 2014).

Согласно данным Министерства экологии и природных ресурсов Республики Крым, 80% от всех антропогенно трансформированных земель республики занимают территории карьеров и различных отвалов. Почти 4881 га земель находится в нарушенном состоянии,

из них 1516 га требуют рекультивации (Плугатарь и др., 2021).

Основная масса породных отвалов Донбасса состоит из разных по крупности осадочных пород: аргиллитов (до 30%), алевритистых аргиллитов (около 20%), алевролитов (до 20%), глинистых алевролитов (до 15%), песчаников (около 10%), обломков известняка. По мнению исследователей, средний состав пород отвалов Донбасса характеризуется содержанием в породе таких химических компонентов, как 56.43% – SiO_2, 26.01% – Al_2O_3, 8.20% – Fe_2O_3 (Зубова и др., 2012).

В 2025 году сообщалось о дефиците сырья для металлургии, в частности, лома, в некоторых регионах России. Это связано с активизацией закупок сырья крупнейшими металлургическими предприятиями после затяжного периода низкого спроса.

Ежегодно в России добывается около 21-29 млн. тонн металлолома. Металлурги в лучшие годы потребляли примерно 25 млн. т, но на 2025-2026 годы спрос оценивается в 14 млн. т/год. В «Стратегию развития металлургии в России до 2030 года» включены цели по импортозамещению редких металлов, а также хрома и марганца. Потребности экономики в дефицитном сырье планируют обеспечить за счёт разработки месторождений в стране, в т.ч. активной переработке металлосодержащих отходов. Одними из основных источников получения этих металлов в угледобывающих регионах, таких как ДНР и ЛНР, выступают шахтные породные отвалы, которые представляют опасность для окружающей среды не только за счет выброса загрязнителей в атмосферный воздух, но и изъятия огромного количества площадей потенциально пригодный для сельскохозяйственного пользования, смыва кислых стоков и поступления их в прилегающие почвенные горизонты, поступления загрязняющих веществ в растительные биоценозы и органы дыхания животных и человека.

Исследования породных отвалов в Польше направлены на использование породы в качестве энергетического концентрата. Так, при обработке породы с применением отсадочного устройства получен энергетический концентрат высокого качества с зольностью менее 12% и высшей теплотворной способностью более 26 МДж/кг (Różański et al., 2016).

Исследование получения металлов (Zn, Cd, Ga) из отходов заброшенных шахт в г. Горно (Италия) показало, что из измельченной до размеров < 0.5 мм породы при обогащении на вибрационном столе было извлечено 66% Cd, 56% Ga и 64% Zn. Эти же образцы при измельчении породы до размеров 0.063-0.16 мм и применении пенной флотации показали извлечение Cd, Ga и Zn до 61, 72 и 47% соответственно (Mehta et al., 2020).

Целесообразным и актуальным будет решение проблемы дефицита сырья для металлургии за счет утилизации шахтных породных отвалов, сепарации полезных компонентов, в том числе металлов с использованием полученной пульпы металлов для обогащения руд и гидрометаллургического производства.

Целью исследования является разработка комплексной установки по утилизации угольных отвалов с использованием растений-гипераккумуляторов.

Материалы и методы

В ходе исследования использовались обзорные, аналитические, расчетные, графические методы. В качестве объектов исследования были в первую очередь выбраны угольные отвалы, находящиеся в черте городов Донецкой Народной Республики (Донецк, Макеевка, Шахтерск, Снежное и т.д.) с перспективой применения предложенной технологии для всех угольных отвалов Российской Федерации. В эксперименте за образец взяты результаты анализа химического состава породы отвалов шахты им. М.И. Калинина (плоский, действующий горящий, частично рекультивированный) и ЦОФ «Чумаковская» (г. Донецк) (конические, перегоревшие, не рекультивированные).

Породный отвал шахты имени М.И. Калинина является плоским действующим горящим,

в эксплуатации с 1962 г., фактическая площадь основания породного отвала – около 213188 м^2; фактическая высота – 82 м (рис. 1).



Рис. 1. Спутниковый снимок породного отвала им. М.И. Калинина.
Fig. 1. Satellite image of the Kalinin rock dump.

Отвалы ЦОФ «Чумаковская» являются коническими, потухшими, не рекультивированными и также представляют интерес, т.к. находятся непосредственно в черте города в окружении жилых домов, школ, детских садов, магазинов, культурных учреждений и т.д. (рис. 2).



Рис. 2. Спутниковый снимок породных отвалов ЦОФ «Чумаковская».
Fig. 2. Satellite image of the rock dumps of the Central Processing Plant “Chumakovskaya”.

Породный отвал ЦОФ «Чумаковская» № 1 является недействующим и негорящим, объем накопленной породы – 26400 м^3, площадь – 50.3 га, высота – 61 м.

Породный отвал ЦОФ «Чумаковская» № 2 является недействующим и негорящим, объем накопленной породы – 2810 м^3, площадь – 13.8 га, высота – 71 м.

Породный отвал ЦОФ «Чумаковская» № 3 является недействующим и негорящим, объем накопленной породы – 1500 м^3, площадь – 5.3 га, высота – 65 м.

Породный отвал ЦОФ «Чумаковская» № 4 является недействующим и негорящим, объем накопленной породы – 17100 м^3, площадь – 22.0 га, высота – 60 м.

В ходе эксперимента, проведенного в отделении анализа наноструктур инжинирингового центра «Политехник» Донецкого национального технического университета, были задействованы следующие приборы: система напыления углерода C156TE (установка напыления углерода с турбомолекулярным насосом для пробоподготовки исследований методами электронной микроскопии) и WIN SEM A7000 сканирующий электронный микроскоп. Были получены результаты химического состава отдельной микрозоны образца порода. Статистические результаты получены с использованием программы Statistica.

Результаты и их обсуждение

В таблице приведены результаты содержания элементов в исследованных отвалах (элементы, значение которых > 0).

В ходе статистической обработки результатов исследований установлено, что для породы отвалов процентное содержание элементов в среднем составляет 0.005 (стандартное отклонение – 0.001). Разность между двумя средними значениями этих двух зависимых групп составляет 0.012 (стандартное отклонение – 0.018). Значение t-критерия Стьюдента – 2.05. Различия в процентном содержании элементов в породе отвалов статистически достоверны на высоком уровне значимости (p = 0.052).

Таблица. Содержание элементов в породе отвалов, %. **Table.** The content of elements in the rock of the rock dumps, %.

Отвал	Ca	Fe	Pb	Al	K	Na	Ti	Cu
Шахты имени М.И. Калинина	1.24	18.13	0.01	21.43	5.72	0.44	0.83	0.11
ЦОФ «Чумаковская» № 1	0.72	10.16	8.22	11.84	3.44	1.36	0.86	0.31
ЦОФ «Чумаковская» № 2	1.40	45.51	9.50	16.53	3.51	1.83	1.14	0.63
ЦОФ «Чумаковская» № 3	0.22	50.39	5.79	18.15	2.55	1.8	0.85	0.55
ЦОФ «Чумаковская» № 4	1.24	18.13	0.01	21.43	5.72	0.44	0.83	0.11

Высокое содержание алюминия обусловлено процессами разрушения горных пород, алунитизации и выветривания. Также отвалы характеризуются высоким содержанием железа (10-50%) со следовыми количествами титана, меди, натрия и свинца.

Таким образом, целесообразной является сепарация металлов из породы, в первую очередь – железа, алюминия и свинца.

Для вытяжки металлов из угольного отвала можно также использовать растения-гипераккумуляторы (рапс озимый/яровой, люпин, горчица обыкновенная). Процесс будет включать посадку семян растений на склонах и плато отвала, защиту их от вредителей, сбор биомассы и ее дальнейшую обработку. В процессе сепарации металлов из отвальной породы по этой авторской технологической схеме используются следующие лабораторные приборы: сито механическое, ступка фарфоровая, муфельная печь с максимальной

температурой нагрева 1200°С и кислотный выщелачиватель (агитатор). Подготовка исходной пробы породы включает в себя 2 операции: классификация и озоление. Классификация исходного материала выполняется при помощи сита механического двух фракций: 40 и 25 мкм. Далее растительные пробы измельчаются в фарфоровой ступке. Озоление проб проходит в муфельной печи при температуре 400-500°С на протяжении 120-240 мин (рис. 3). После чего происходит выщелачивание металлов с использованием лабораторного агитатора. Выход: пульпа с концентратом металлов.

Теоретический планируемый выход: выход продукта (массовая доля железа, галлия, германия, олова, золота и т.д.) ±0.01-25.50%, показатель зольности (A_d) – ±14.4%, массовая доля общей влаги (W_n) – ±5.1%.

Сборка и испытание предложенной лабораторной установки полупромышленного типа планируется авторами в ближайшее время.

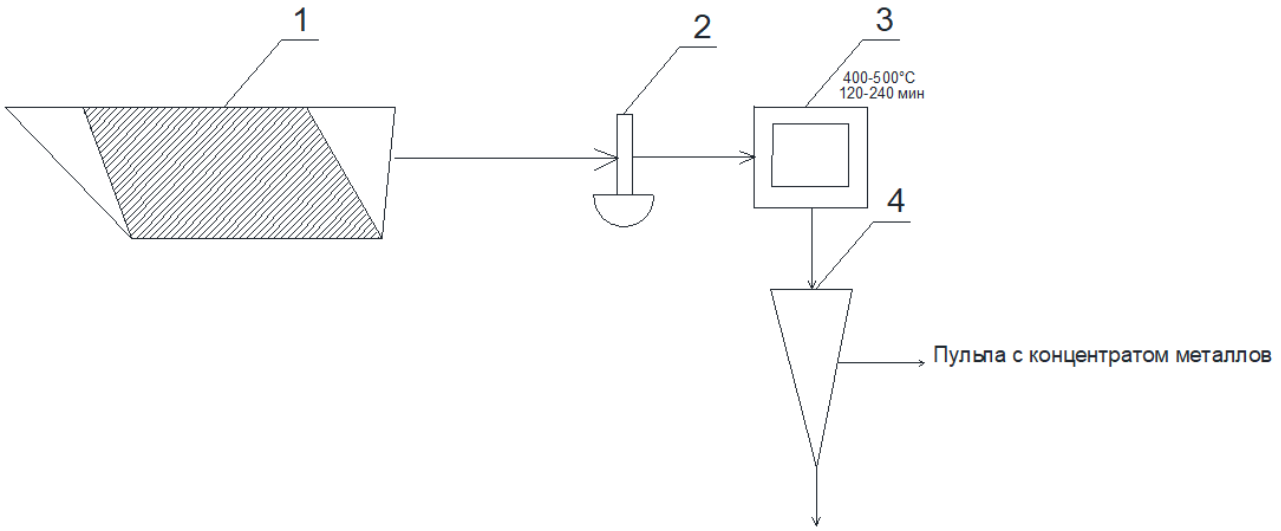

Рис. 3. Технологическая схема получения металлов из отвальной породы с использованием растений-гипераккумуляторов. *Условные обозначения:* 1 – сито, 2 – ступка фарфоровая, 3 – муфельная печь, 4 – кислотный выщелачиватель (агитатор). **Fig. 3**. Technological scheme of obtaining metals from landfill rock using hyperaccumulative plants. *Legend:* 1 – sieve, 2 – porcelain mortar, 3 – muffle furnace, 4 – acid leachate (agitator).

Выводы

1. Состояние окружающей среды в ДНР, ЛНР и угледобывающих регионах России, сопряженное с дефицитом сырьевых ресурсов, обуславливает необходимость внедрения на практике технологической схемы утилизации угольных отвалов.

2. Целесообразным и актуальным будет решение проблемы дефицита сырья для металлургии за счет утилизации шахтных породных отвалов, сепарации полезных компонентов, в том числе металлов, с использованием полученной пульпы металлов для обогащения руд и гидрометаллургического производства.

3. Для вытяжки металлов из угольного отвала можно также использовать растения-гипераккумуляторы (рапс озимый/яровой, люпин, горчица обыкновенная). Процесс будет включать посадку семян растений на склонах и плато отвала, защиту их от вредителей, сбор биомассы и ее дальнейшую обработку.

4. Результаты исследований могут быть также использованы при биологической рекультивации и фиторемедиации угольных шахтных отвалов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзаданий Донецкого ботанического сада по темам «Классификация почвенно-растительного покрова с помощью методов дистанционного зондирования Земли» (№ 124101500495-0) и «Комплексное изучение биоресурсного потенциала растений мировой флоры для содействия экологической стабилизации и устойчивого развития» (№ 126020616725-0).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арбузов С.И., Ершов В.В., Поцелуев А.А., Рихванов Л.П.* 2000. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна. Кемерово: Изд-во КПК. 226 с.
2. *Баталин Б. С., Белозерова Т.А., Гайдай М.Ф.* 2014. Строительная керамика из терриконików Кизеловского угольного бассейна // Стекло и керамика. № 3. С. 8-10.
3. *Зубова Л.Г., Зубов А.Р., Верех-Белоусова К.И., Олейник Н.В.* 2012. Получение металлов из терриконов угольных шахт Донбасса: монография. Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля. 144 с.
4. *Крутько Т.И.* 2011. Рациональное природопользование: возможности переработки горных отвалов // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд. Новосибирск: Центр развития научного сотрудничества. С. 151-155.
5. *Павлова Н.В., Зубов А.Р.* 2025. Шахтная порода как техногенное сырье в Донбассе: потенциал и перспективы устойчивого развития // Экологический вестник Донбасса. № 3 (16). С. 46-52.
6. *Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А., Дьяченко К.И.* 2025. Редкоземельные металлы – оценка возможности их производства в угледобывающих регионах России // Уголь. № 10. С. 58-62.
7. *Плугатарь Ю.В., Корженевский В.В., Головнев И.И., Славгородская О.А.* 2021.

REFERENCES

1. Arbuzov SI, Yershov VV, Potseluev AA, Rikhvanov LP. Rare elements in the coals of the Kuznetsk basin [*Redkiye elementy v uglyakh Kuznetskogo basseyna*]. Kemerovo: Izd-vo KPK, 2000:226.
2. Batalin BS, Belozerova TA, Gaidai MF. Construction ceramics from the thermal cores of the Kizelovsky coal basin [Stroitel'naya keramika iz terrikonikov Kizelovskogo ugol'nogo basseyna]. *Glass and Ceramics [Steklo i keramika]*. 2014;3:8-10.
3. Zubova LG, Zubov AR, Verekh-Belousova KI, Oleinik NV. Obtaining metals from the terricons of coal mines in Donbass: a monograph [*Polucheniye metallov iz terrikonov ugol'nykh shakht Donbassa: monografiya*]. Lugansk: Izd-vo VNU im. V. Dalya, 2012:144.
4. Krutko TI. Rational use of natural resources: possibilities of processing mining dumps [*Ratsional'noye prirodopol'zovaniye: vozmozhnosti pererabotki gornykh otvalov*] *Modern trends in economics and management: a new perspective [Sovremennyye tendentsii v ekonomike i upravlenii: novyy vzglyad]*. Novosibirsk: Tsentr razvitiya nauchnogo sotrudnichestva, 2011:151-155.
5. Pavlova NV, Zubov AR. Mining rock as a man-made raw material in Donbass: potential and prospects for sustainable development [Shakhtnaya poroda kak tekhnogennoye syr'ye v Donbasse: potentsial i perspektivy ustoychivogo razvitiya]. *Ecological Bulletin of Donbass [Ekologicheskiy vestnik Donbassa]*. 2025;3 (16):46-52.
6. Plakitkina LS, Plakitkin YuA, Dyachenko KI. Rare earth metals – an assessment of the possibility of their production in the coal-mining regions of Russia [Redkozemel'nyye metally – otsenka vozmozhnosti ikh proizvodstva v ugledobyvayushchikh regionakh Rossii]. *Coal [Ugol']*. 2025;10:58-62.
7. Plugatar Yu V, Korzhenevsky VV, Golovnev II,

Оптимизация техногенных ландшафтов Крыма. Сообщение 2: Свалки, насыпи и отвалы // Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovation. № 4 (161). С. 7- 26.

8. *Тарасова Ю.Ю.* 2023. Биологическая рекультивация как метод оптимизации техногенных ландшафтов в Донбассе // IV Международная научно-практическая конференция Биологические науки. Аграрная наука в обеспечении продовольственной безопасности и развитии сельских территорий. Луганск. С. 43-45.
9. *Харламова А.В., Верех-Белоусова Е.И.* 2025. Приоритетные направления переработки отвальной породы угольных шахт для получения редких металлов // Известия ПГУПС. № 4. С. 1053-1059.
10. *Шаповалов В.В., Козырь Д.А.* 2023. Ресурсосберегающая технология утилизации породных отвалов горнодобывающих производств // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. Т. 334. № 4. С. 175-184.
11. *Mehta N., Dino G.A., Passarella I., Ajmone-Marsan F., Rossetti P., De Luca D.A.* 2020. Assessment of the Possible Reuse of Extractive Waste Coming from Abandoned Mine Sites: Case Study in Gorno, Italy // Sustainability. Vol. 12. P. 2471.
12. *Różański Z., Suponik T., Matusiak P., Kowol D., Szpyrka J., Mazurek M., Wrona P.* 2016. Coal Recovery from a Coal Waste Dump // E3S Web of Conferences. Vol. 8. P. 01052.

Slavgorodskaya OA. Optimization of technogenic landscapes of the Crimea [Optimizatsiya tekhnogennykh landshaftov Kryma] Message 2: Landfills, embankments and dumps [Soobshcheniye 2: Svalki, nasypi i otvaly]. *Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovation*. 2021;4 (161):7-26.

8. Tarasova YuY. Biological reclamation as a method of optimizing man-made landscapes in Donbass [*Biologicheskaya rekul'tivatsiya kak metod optimizatsii tekhnogennykh landshaftov v Donbasse*] *IV International scientific and practical Conference Biological Sciences [IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya Biologicheskiye nauki] Agricultural science in ensuring food security and rural development [Agrarnaya nauka v obespechenii prodovol'stvennoy bezopasnosti i razvitii sel'skikh territoriy]*. Lugansk, 2023:43-45.
9. Kharlamova AV, Verekh-Belousova EI. Priority areas of coal mine waste rock processing for the production of rare metals [Prioritetnyye napravleniya pererabotki otval'noy porody ugol'nykh shakht dlya polucheniya redkikh metallov]. *Proc. of the St. Petersburg State Transport University [Izvestiya PGUPS]*. 2025;4:1053-1059.
10. Shapovalov VV, Kozyr DA. Resource-saving technology of utilization of rock dumps of mining industries [Resursosberegayushchaya tekhnologiya utilizatsii porodnykh otvalov gornodobyvayushchikh proizvodstv]. *Proc. of Tomsk Polytechnic University [Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta] Georesource Engineering [Inzhiniring georesursov]*. 2023;334 (4):175-184.
11. Mehta N, Dino GA, Passarella I, Ajmone-Marsan F, Rossetti P, De Luca DA. Assessment of the Possible Reuse of Extractive Waste Coming from Abandoned Mine Sites: Case Study in Gorno, Italy. *Sustainability*. 2020;12:2471.
12. Różański Z, Suponik T, Matusiak P, Kowol D, Szpyrka J, Mazurek M, Wrona P. COAL recovery from a Coal Waste Dump. *E3S Web of Conferences*. 2016;8:01052.

UDC 622.7-027.32

BIOTECHNOLOGIES IN THE RESTORATION OF ANTHROPOGENIC DISTURBED ECOSYSTEMS AND THE DISPOSAL OF COAL MINE DUMPS

© 2026. D.A. Dostovalova*, A.Z. Glukhov*, N.S. Podgorodetsky**

**Donetsk Botanical Garden*
110, Ilyich Avenue, Donetsk, 283023, Russia
***Donbass National Academy of Construction and Architecture*
2, Derzhavina Str., Makeyevka, 286123, Russia. E-mail: dasha.dostovalova1997@mail.ru

Received May 19, 2026. Revised Juni 01, 2026. Accepted September 01, 2026.

In this article we explore the possibilities of using hyperaccumulative plants in the restoration of anthropogenically disturbed ecosystems, specifically, the coal mine dumps. For that, we have developed a comprehensive way to separate the rare, rare earth and heavy metals using such plants.
We used surveys, analytical, computational, and graphical methods.
The objects of our research are the coal dumps located within the cities Donetsk, Makeyevka, Shakhtersk, and Snezhnoye of the Donetsk People's Republic. Eventually, we hope to apply the proposed technology to all coal dumps of the Russian Federation. For now, we use the rocks of the rock dumps of the Kalinin Mine (flat, burning, partially reclaimed) and the Chumakovskaya Mine in Donetsk (conical, burnt out, not reclaimed) as the examples for the analysis of their chemical compositions.
The research was conducted at the Department of Nanostructure Analysis, the Polytechnic Engineering Center of Donetsk National Technical University, using the following devices: the C156TE carbon deposition system (a carbon deposition unit with a turbomolecular pump for sample preparation by electron microscopy), and the WIN SEM A7000 scanning electron microscope. There, the results of the chemical composition analysis of individual microzones of rock samples were obtained. Statistical results were obtained using the Statistica Program.
During the statistical processing of the results, we found out that for the rock of the landfills, the percentage of elements was 0.005 on average (the standard deviation is 0.001). The difference between the 2 averages of these 2 dependent groups was 0.012 (the standard deviation is 0.018). The Student's t-test is 2.05. Percentage differences of the elements in the landfills rocks are statistically significant at a high level of significance ($p = 0.052$).
The high aluminum content is due to the rock destruction, alunitization and weathering. The dumps are also characterized by high iron content (10-50%), with trace amounts of titanium, copper, sodium, and lead. Thus, it is advisable to separate metals from the rock, primarily iron, aluminum, and lead.
Hyperaccumulative plants (winter/spring rapeseed, lupine, common mustard) can also be used to extract metals from a coal dump. Such process includes planting their seeds on the slopes and plateaus of the dumps, protecting the growing seedlings from pests, collecting and processing their biomass. According to our technology, when separating metals from landfill rock, the following laboratory devices should be used: a mechanical sieve, a porcelain mortar, a muffle furnace with a maximum heating temperature of 1200°C, and an acid leach (agitator). The preparation of the initial rock sample involves 2 operations: classification, and salting. The classification of the starting material is performed with a mechanical sieve of 40 and 25 microns. Next, the plant samples are crushed in a porcelain mortar, and ozonized in a muffle furnace at 400-500°C for 120-240 minutes. Afterwards, metals are leached using a laboratory agitator, with the output being a pulp with metal concentrate.
Due to a shortage of raw materials, the environment of the studied republics, as well as of the coal-mining regions of Russia in general, requires a technological scheme for the disposal of coal dumps using a mechanical sieve, porcelain mortar, muffle furnace and acid leach (agitator). This method may include planting hyperaccumulator plants on the slopes and plateaus of the dumps, with further monitoring of the plants.

Keywords: utilization, raw material resource, rock dump, hyperaccumulator plants.
DOI: 10.24412/2542-2006-2026-3-123-131
EDN: AELDYK