

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Ю.И. Кутепов¹, Н.А. Кутепова¹, А.С. Мухина¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: koutepovy@mail.ru

Аннотация: В современном мире проблема образования твердых промышленных отходов становится все более острой. Складирование таких отходов приводит к негативным последствиям, а также требует доступного пространства для их размещения. Однако с ужесточением требований российского законодательства в области охраны окружающей среды и рационального использования земельных ресурсов стало необходимо формирование отвальных сооружений с максимальными параметрами. При этом по литологическому составу и содержанию полезных компонентов многие виды накопленных отходов представляют собой крупный источник вторичного сырья для создания новых материалов. Основная задача данной работы заключается в обосновании устойчивых параметров горнотехнических отвальных сооружений и повторном вовлечении отходов производства в процесс их рекультивации. Такой подход позволит обеспечить безопасность горных работ, снизить техногенную нагрузку на окружающую среду и уменьшить объемы использования почвенных ресурсов, привлекаемых при формировании почвенно-растительного слоя на поверхности отвалов. Результаты исследований, проведенных в данной работе, имеют высокую значимость, и могут быть использованы для создания технологий рекультивации промышленных территорий отвальных комплексов, что в свою очередь, позволит обеспечить безопасность ведения горных работ и эффективно использовать вторичные ресурсы для возобновления природной среды.

Ключевые слова: промышленные отходы, вторичные ресурсы, уголь, рекультивация, инженерно-геологические условия, геоэкологические условия, отвал, гидроотвал, техногенный ландшафт.

Для цитирования: Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А., Мухина А. С. Проблемы и перспективы использования отходов производств для рекультивации горнотехнических сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 12-1. – С. 5–21. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_121_0_5.

Problems and prospects of using industrial waste in mine reclamation

Yu.I. Kutepov¹, N.A. Kutepova¹, A.S. Mukhina¹

¹ Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University,
Saint-Petersburg, Russia, e-mail: koutepovy@mail.ru

Abstract: In the modern world, the problem of the formation of solid industrial waste is becoming increasingly urgent. Storing such waste leads to negative consequences and also requires available space for its placement. However, with the tightening of the requirements of Russian legislation in the field of environmental protection and rational use of land resources, it has become necessary to create dump structures with maximum parameters. At the same time, in terms of lithological composition and content of useful components, many types of accumulated waste represent a large source of secondary raw materials for the creation of new materials. The main objective of this work is to substantiate the sustainable parameters of mining waste disposal structures and the re-involvement of production waste in the process of their reclamation. This approach will ensure the safety of mining operations, reduce the technogenic load on the environment and reduce the volume of use of soil resources involved in the formation of the soil-vegetative layer on the surface of the dumps. The results of the research carried out in this work are of high significance and can be used to create technologies for the reclamation of industrial territories of dump complexes, which in turn will ensure the safety of mining operations and effectively use secondary resources to restore the natural environment.

Key words: industrial waste, secondary resources, coal, reclamation, geotechnical conditions, geoeological conditions, dump, hydraulic dump, technogenic landscape.

For citation: Kutepov Yu. I., Kutepova N. A., Mukhina A. S. Problems and prospects of using industrial waste in mine reclamation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(12-1):5-21. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_121_0_5.

Введение

Рост мирового населения, улучшение качества жизни и высокие темпы потребления ресурсов привели к значительному росту объемов образования отходов, размещаемых на земной поверхности в специальных сооружениях разного типа [1–3]. Очевидно, что их формирование и функционирование негативно влияет на компоненты окружающей среды. Степень воздействия зависит от ряда определяющих факторов, наиболее значимыми из которых являются: состав отхода, рельеф местности и климат, способы складирования отходов, места их локализации, а также состояние окружающей среды и способность экосистемы к саморегуляции [4, 5]. Одно из опасных последствий складирования отходов заключается в инфильтрации загрязненных вод из техногенных массивов в почву, поверхностные и подземные воды с образованием лито- и гидрогео-

химических ореолов загрязнения, которое сохраняется длительное время, даже после прекращения эксплуатации объекта.

Данными статистической отчетности показано, что в 2023 г. в РФ отмечено увеличение объемов отходов производства на 7% с достижением рекордных 9 млрд т, из которых около 60% от общего объема приходится на горнодобывающую отрасль, а именно: добычу угля, руды и других полезных ископаемых.

Если анализировать данные по валовому образованию отходов в регионах, то можно увидеть, что 62% приходится на предприятия Сибирского федерального округа (рис. 1), где определяющая роль принадлежит Кемеровской области [3]. При этом на долю открытой добычи угля приходится наибольшее количество горнопромышленных отходов, а именно

вскрышных пород, поступающих в отвалы и гидроотвалы [1, 6, 7].

В последние годы данные объемы достигли 2 млрд м³. Для их размещения на поверхности земли по самым скромным подсчетам требуется более 2000 га. Учитывая практически 75-летний период развития открытой угледобычи в регионе, можно отметить наличие значительных территорий, задействованных под отвальные комплексы. В настоящее время глубина отработки месторождений выросла практически в два раза (по сравнению с 1980–90 гг.). В зону отработки вовлекаются более литифицированные прочные отложения глубоких горизонтов. В перспективе суммарные площади внешних отвалов будут только расти, что говорит о тенденции увеличения площади и интенсивности образования нарушенных земель и о значительном отставании их восстановления.

В настоящее время на фоне ужесточения требований российского законодательства в области охраны окружающей среды и рационального использования земельных ресурсов ощущается определенный дефицит площадей для размещения отходов (вскрышных пород, побочных продуктов обогащения, шламов и т.д.). Решение данной проблемы

заключается в увеличении параметров отвальных сооружений, обеспечивающих максимальную их вместимость. Формируются высокие (более 100 м) и сверхвысокие (более 300 м) отвальные природно-технические системы, потенциально опасные по возникновению масштабных аварийных ситуаций, связанных с развитием оползневых процессов. Подтверждением тому служат крупные оползни, возникшие за последние 10 лет.

Создание высоких отвальных сооружений предопределяет необходимость выполнения специальных исследований инженерно-геологической [1, 8, 9], геомеханической [10–12] и экологической [13–15] направленности. Это позволит получить необходимые данные для обоснования устойчивых параметров отвальных сооружений и разработки рекомендаций для выполнения рекультивационных работ на различных этапах возведения сооружения. Особое внимание при изучении высоких отвалов следует уделять оценке их влияния на компоненты окружающей среды, так как крупные горнотехнические объекты, характеризующиеся высотами 100–250 м и занимающие площади более тысячи га, могут существенно изменить ландшафт территории размещения.

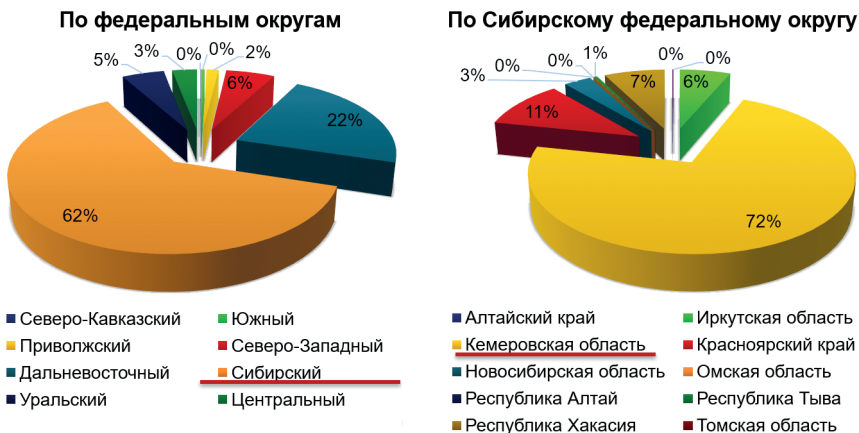


Рис. 1. Валовое образование отходов [составлено авторами]

Fig. 1. Gross waste generation [compiled by the authors]

Обычно экологические исследования на отвалах не производятся совсем или выполняются в усеченном объеме, а в последние годы ограничиваются только вопросами горения и пыления. Мероприятия по восстановлению нарушенных отвалами территорий также не проектируются, что связано с неопределенностью дальнейшего существования данных объектов, значительными финансовыми затратами, которые влияют на показатели экономической эффективности освоения отвального хозяйства.

Кроме того, их реализация практически невозможна из-за отсутствия должного объема рекультиванта (ПРС, или почвенно-растительного субстрата) как на предприятиях, так и в целом в регионе с развитым сельским хозяйством и горной промышленностью. Таким образом, поиск потенциально плодородных пород в пределах разрабатываемых месторождений является важным научно-практическим направлением. При этом по литологическому составу и содержанию полезных компонентов многие виды накопленных отходов представляют собой крупный источник вторичного сырья для создания рекультиванта [1, 16, 17]. В этом аспекте проблема рекультивации отвалов накопленных горнопромышленных отходов многократно возрастает.

Материалы и методы

Процесс обеспечения восстановления экологической целостности ранее нарушенных земель называется рекультивацией, она включает в себя обеспечение надлежащих химических, физических и биологических свойств почвы: плодородие, pH, микробное сообщество и другие циклы питательных веществ, которые возвращают продуктивность плодородному субстрату.

Прежде чем планировать восстановление, следует учитывать определенные

факторы. Согласно исследованиям, каждый подход к восстановлению, активный или пассивный, зависит от шести основных критериев: целей рекультивации; формы будущего ландшафта; безопасных параметров ГТС (горнотехнических сооружений); наличия рекультиванта; устойчивости экосистемы и ориентировочной стоимости работ.

Эти шесть критериев реализуются на основе трех основных принципов восстановления земель: 1 — горнотехнического, 2 — химического и 3 — биологического.

Метод горнотехнического восстановления фокусируется на работах по изменению геометрических форм отвальных массивов для целевого назначения при обеспечении устойчивых параметров. Общая цель данного этапа направлена на достижение трех целей: (1) обеспечить безопасные условия для работы техники и устойчивости сооружения в долгосрочной перспективе, (2) уменьшить уплотнение приповерхностного слоя вскрышных пород (3) создать условия, подходящие для восстановления растительного покрова. В процессе восстановления верхнего слоя вскрышных пород необходимый материал можно перемещать с близлежащих участков или использовать складированный до начала разработки месторождения ПРС. Однако исследования отвальных сооружений угольных месторождений Кузбасса показали, что длительный период разработки привел к полной утрате почвенно-растительного материала, необходимого для рекультивации.

Химический метод ориентирован в первую очередь на добавление химических удобрений (азота, фосфора и калия) и других важных микроэлементов, таких как цинк, медь, известь и другие [16, 17]. Общая цель химического метода рекультивации почвы — улучшить поглощение питательных веществ расте-

ниями, скорректировать рН почвы, улучшить текстуру и структуру почвы, повысить биодоступность и растворимость питательных веществ [13, 18]. В конечном итоге данный этап направлен на снижение загрязнения почвы и корректировку общих физико-химических свойств. Однако проблемами, ограничивающими применение химического метода, являются квалификация технических специалистов, высокая стоимость реагентов, применение сложного оборудования и возможность вторичного загрязнения.

В некоторых случаях при рекультивации ГТС возможно использование одного или двух принципов, при этом нарушение последовательности недопустимо. Недостатком этой практики является то, что процесс рекультивации может занять больше времени, а ландшафт может оказаться непригодным для целевого использования земель. В качестве пояснения приведем следующий пример. Геометрические параметры отвальных сооружений и масштабы изменения ландшафта могут быть настолько велики, что без выполнения вылаживания откосов проведение биологического этапа рекультивации становится нецелесообразным.

Обоснование способов рекультивации невозможно без информации об инженерно-геологических и гидрогеологических условиях отвалов [1, 12], на основании которых производятся геомеханические расчеты устойчивости откосов и уплотнения техногенных массивов [19, 20].

Комплексные исследования включают анализ научно-технической литературы, нормативно-технической документации, патентов и других материалов, относящихся к теме безопасности отвальных сооружений, технологии отвалобразования и техногенеза пород в отвальных массивах, существующих спо-

собов рекультивации и оценки влияния горнотехнических сооружений на окружающую среду.

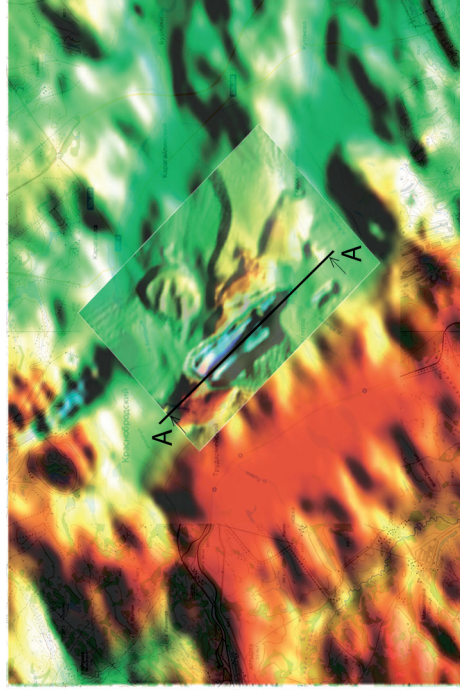
Представленный анализ позволит выявить закономерности формирования отвальных природно-технических систем в районе расположения предприятия в зависимости от различных факторов, влияющих на современное геозоологическое состояние отвальных сооружений, а также будет свидетельствовать о необходимости применения новых способов обеспечения устойчивости отвалов и их рекультивации с использованием промышленных отходов.

Анализ изменения топографии

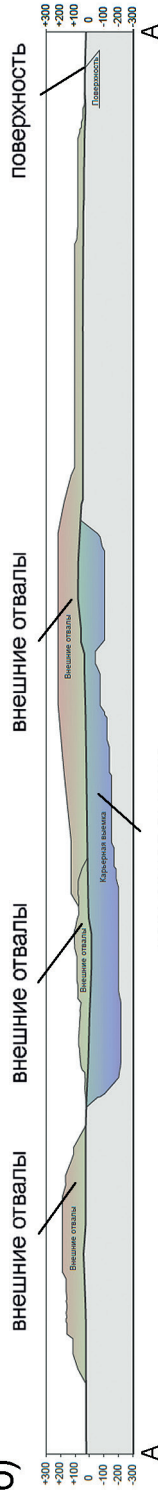
Изменение природного ландшафта (изменение абсолютных отметок рельефа местности и потеря растительного покрова [15, 21]) является наиболее заметным воздействием ГТС на экосистему. Помимо этого, каждый горнодобывающий комплекс изменяет гипсометрию водосбора в горизонтальных масштабах в десятки километров и сотни метров по вертикали. Также параметры отвальных массивов оказывают влияние непосредственно на поверхностный смыв и накопление у подножия образующегося почвенно-растительного слоя (рекультиванта), поэтому необходимо определять градиенты поверхностного стока, а также мощность техногенного элювия от верхних участков откоса к основанию [1]. Распределение высот по ландшафтам определяет потенциальную энергию, доступную для стимулирования эрозии, как за счет текущей воды, так и за счет гравитационных процессов на склонах, что делает качественную оценку изменений топографии критически важной для прогнозирования эволюции нарушенных горными работами земель [22, 23].

Для ретроспективного анализа было выполнено моделирование поверхности угольного разреза Краснобродский

а)



б)



в)

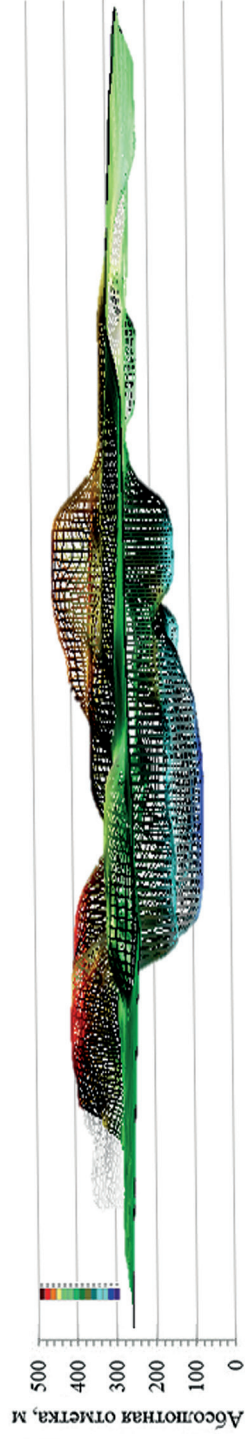


Рис. 2. Топографический анализ: тематическая карта с теневым рельефом, полученная с помощью оцифровки топографических карт (а); схематический разрез участка добычи угля открытым способом (б); каркасный профиль 3D модели исследуемого участка (в) [составлено авторами]

Fig. 2. Topographic analysis: thematic map with shadow relief obtained by digitizing topographic maps (a); schematic section of an open-pit coal mining site (b); frame profile of a 3D model of the study area (v) [compiled by the authors]

(Новосергеевское поле, Кемеровская область), которое заключалось в реконструкции рельефа исследуемой местности (рис. 2).

Изменения абсолютных отметок, вызванные горными работами, способствуют изменению гидрологического режима, при этом скорость антропогенной реорганизации водоразделов намного превосходит изменения, вызванные естественными процессами. Для дальнейшей качественной оценки влияния пространственной протяженности горных работ на топографию мы анализируем путем моделирования, наложения карт и визуальной оценки соотношения средней морфологии водосбора, представленной высотой и уклоном (рис. 3).

Объекты размещения промышленных отходов влияют на динамику поверхностных водоемов и водотоков путем изменения водного баланса ландшафта за счет перекрытия инженерно-техническими сооружениями, инфильтрации и образования стока, изменения маршрута потока за счет изменения абсолютных отметок и строительства водохозяйственных сооружений [24, 25]. Эти эффекты по-своему характерны для разных участков из-за отличий в способах добычи, отвалообразования и рекульти-

вации, они зависят от контрастов между отвальными массивами и формами природного рельефа. Важно отметить, что крайняя изменчивость техногенного ландшафта в пространстве и времени означает, что объем работ по рекультивации, а, следовательно, и объем необходимого для этих целей рекультиванта, не могут быть универсальными, и варьируют в зависимости от конкретного сооружения и характерных для него инженерно-геологических условий.

Факторы, определяющие устойчивость высоких отвалов как техногенных ландшафтов

При размещении промышленных отходов в отвалы формируются новые природно-технические системы с весьма сложными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями. Их функционирование небезопасно по отношению к окружающей среде, и во многих случаях может представлять угрозу находящимся в непосредственной близости горнопромышленным и инфраструктурным объектам.

Устойчивость подобных сооружений зависит от ряда факторов, наиболее значимые из которых рассмотрим более подробно.

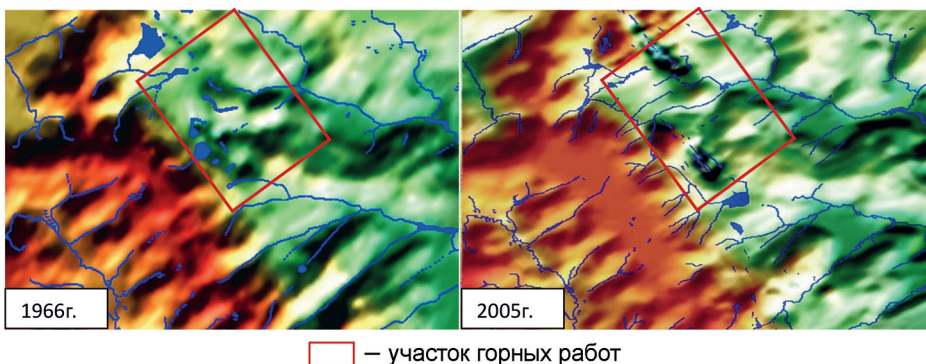


Рис. 3. Изменение гидрологического режима водоемов и водотоков, вызванное горными работами [составлено авторами]

Fig. 3. Changes in the hydrological regime of reservoirs and watercourses caused by mining operations [compiled by the authors]

В отвалы Кузбасса поступают большей частью углевмещающие породы (песчаники и алевролиты), и в меньшей степени — глинистые отложения различного генезиса. Породы различаются по прочности и специфике поведения в отвале под нагрузкой, что непосредственно влияет на параметры устойчивости, и должно учитываться при проектировании [1].

В случае рекультивации высоких отвалов нет единого норматива по обоснованию высоты и результирующих углов, в каждом конкретном случае необходимо определять параметры с учетом прочностных характеристик пород, после чего следует выбирать способ и направление рекультивации.

В лабораториях научного центра «Геомеханики и проблем горного производства» Горного университета [26] были проведены экспериментальные исследования по изучению гранулометрического состава, прочностных свойств отвальных пород при нормальных нагрузках от отвального массива на образцах единой исходной литологии нарушенного сложения, а также подготовленных

смесей различного соотношения. Анализ данных по определению прочностных свойств позволил определить их зависимости от исходного состава пород, который определяется литологическими разностями вскрыши, и зависимость нормальной нагрузки от веса насыпного материала при формировании и эксплуатации отвальных сооружений.

Значительный объем данных, полученных при изучении образцов вскрыши, позволил разработать базу данных, которая может быть использована для выбора предварительных физико-механических свойств в условиях отсутствия фактических данных (рис. 4).

Также нами были установлены тенденции изменения гранулометрического состава отвальных пород, характеристик физико-механических и фильтрационных свойств, которые указывают на возможность формирования в теле отвала техногенного водоносного горизонта, влияющего на состояние устойчивости откосов сооружения [27, 28].

Особенно важным для случаев отвалообразования на водонасыщенном основании является формирование избы-

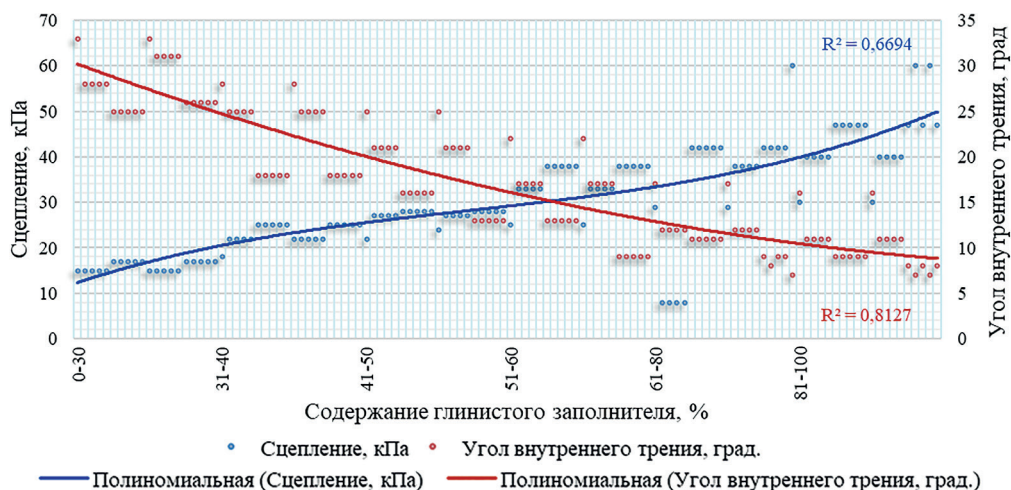


Рис. 4. Влияние содержания глинистого заполнителя на прочностные свойства отвальной смеси [составлено авторами]

Fig. 4. Influence of clay aggregate content on the strength properties of the dump mixture [compiled by the authors]

точного порового давления [29]. Его рас-сеивание происходит чрезвычайно мед-ленно, поэтому этот фактор необходи-мо учитывать даже после прекращения отсыпки. Наиболее значим этот фактор для намывных сооружений в стадии лик-видации и формирования на них отва-лов. Гидроотвалы неоднородны в плане и разрезе, что связано с разделением ма-териала по крупности при намыве, т.е. фракционированием, и скоростью протекания фильтрационной консолидации. Несущая способность текучих осадков крайне мала, и не может обеспечить про-ходимость практически любого горно-транспортного оборудования [1].

Однако это осуществимо посредством управления и контроля. При исследова-нии подобных объектов установлено, что процессы внедрения-замещения активнее протекают в глинистой зоне, поскольку там распространены наиболее слабые, неконсолидированные осадки. По величине внедрения-замещения отсыпаемых пород в намывные, определяется мощ-ность яруса, а также будущий рельеф.

Полученные данные в дальнейшем необходимы при выполнении геомехани-ческих расчетов, а также прогнозе осе-даний поверхности для разработки ре-комендаций по объему рекультивации [1, 19].

Обоснование пригодности вскрышных пород в качестве рекультиванта

На сегодняшний день в Кузбассе прак-тически не проводится классическая рекультивация отвалов полного цикла. Это объясняется несколькими фактора-ми: прежде всего, большинство место-рождений еще не закончили свою эксп-луатацию; вторым важным фактором является наличие множества гидроот-валов, которые недоступны для горно-транспортного оборудования в течение длительного времени; и, наконец, пред-приятия не располагают достаточным количеством рекультиванта — почвен-но-растительного материала, необходи-мого для восстановления нарушенных территорий.

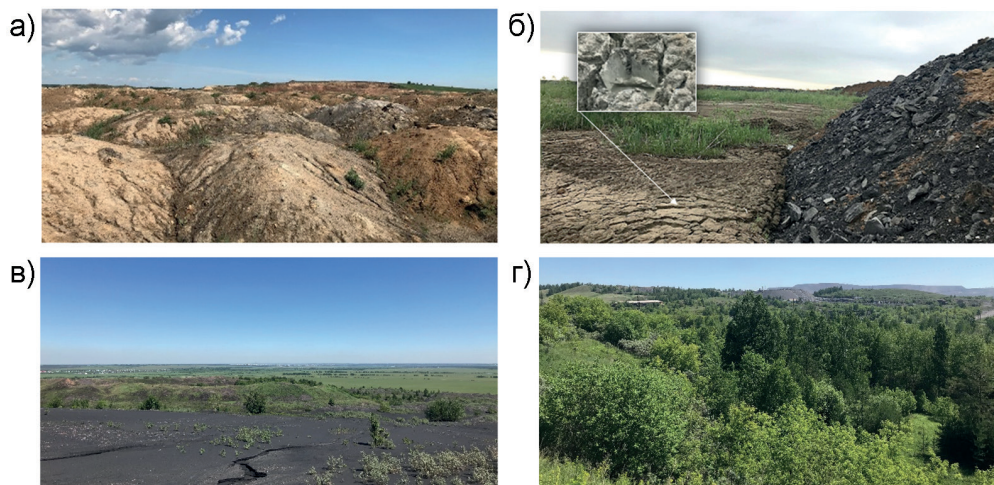


Рис. 5. Техногенный ландшафт горнотехнических сооружений угольных месторождений: поверхности отвала и гидроотвала (а, б); эрозия деградированного почвенного субстрата (в); территория самовосстановления отвала после окончания отвалообразования (г) [фото А. Мухиной]

Fig. 5. Technogenic landscape of mining structures of coal deposits: surfaces of the dump and hydraulic dump (a, b); erosion of degraded soil substrate (v); territory of self-healing of the dump after the end of dumping (g) [photo by A. Mukhina]

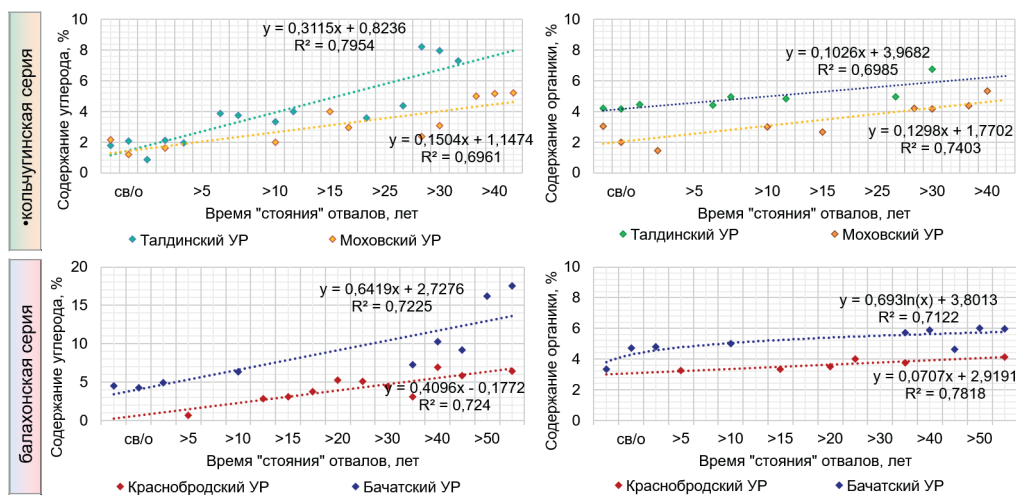


Рис. 6. Определение содержания органического вещества [составлено авторами]

Fig. 6. Determination of organic matter content [compiled by authors]

Поэтому полная ликвидация отвалов в современных реалиях невозможна, и необходимо рассматривать отвалы как новую ландшафтную единицу. Следовательно, процессы почвообразования необходимо изучать уже непосредственно на поверхности техногенных массивов (рис. 5).

Как правило, во вскрышных отвалах наблюдается дефицит трех наиболее важных питательных веществ для растений (N — азота, P — фосфора и K — калия), что непосредственно влияет на рост и развитие растений [16, 18, 29]. Почвенный субстрат, образованный в процессе выветривания отвалов, имеет специфические биологические, химические и физические свойства, отличные от свойств естественных почв. Для естественного восстановления растительности такой «почве» требуется гораздо больше времени (рис. 5).

Однако выполненные нами полевые исследования техногенных отложений на отвалах угольных месторождений Кузбасса позволили получить зависимости изменения мощности образующегося при их выветривании техногенного элювия (почвенного субстрата) от времени,

прошедшего после размещения в отвале [1].

Отличительной особенностью вскрыши угольных месторождений Кузбасса является содержание в них значительного количества угля разных фракций. Он содержит в себе некоторые необходимые для растений питательные вещества, такие как N, P, K, Ca, Mg, Fe и Zn [30]. Недавние исследования [32] показали, что уголь может влиять на поведение тяжелых металлов в почве, изменяя их доступность, транспортировку, пространственное распределение и растворимость. Применение угля также может улучшить физические свойства почвы за счет повышения ее пористости [33, 34] и, следовательно, ее водоудерживающей способности [35], тем самым уменьшая поглощение тяжелых металлов растениями. Установлено, что наличие угля во вскрышных породах и окисление во времени как раз и является основным фактором, определяющим плодородие, за счет высокого содержания органики, которое варьирует от 1 — 7% (рис. 6).

В лаборатории научного центра «Экосистема» Горного университета были проведены экспериментальные исследо-

Результаты количественного анализа проб [составлено авторами]

Results of quantitative sample analysis [compiled by the authors]

Показатель	pH _{вод}	Органика, %	Фосфор подвижный, мг/кг	Калий подвижный, мг/кг	Азот общий, %	Класс опасности
Количество	6,78 – 8,98	1,43 – 6,74	3,53 – 255,00	57 – 474	0,01 – 1,09	5*

* подтверждено биотестированием.

вания по определению агрохимических свойств и токсичности отобранных различными методами образцов. Выбор и обоснование методики исследования зависят от происхождения образцов. Анализ выполнен методами: рентгенофлуоресцентной спектрометрии (элементный состав); термогравиметрии (органическое вещество и N_{общ}); спектрофотометрии (подвижного фосфора, калия и тяжелых металлов). Плодородные свойства рекультиванта определяются также содержанием доступных для растений азота, фосфора и калия (таблица). Потенциально токсичные породы при этом отсутствуют.

Обсуждение результатов

Анализ изменения топографии территорий свидетельствует о кардинальной эволюции рельефа от равнинного к холмистому и даже предгорному [1]. Результаты показывают, что добыча полезных ископаемых и отвалообразование меняют топографию территории и водосборного бассейна, кроме того, величина и направление этого изменения в значительной степени зависят от масштабов добычи, литологии пород и параметров горнотехнических сооружений. Согласно результатам анализа изменения топографии Кузбасса очевидно, что даже при минимальной мощности нанесения (0,05 – 0,15 м) потребуется от 1 до 3 млрд м³ почвенно-растительного материала (рекультиванта). Поэтому основная цель данного этапа наших исследований заключалась в оценке потенциала ландшафта после добычи угля с точки зрения сохранения природы в долго-

срочной перспективе. Следовательно, рекультивант должен состоять практически на 100% из пород, складированных в техногенный массив, поэтому его поиск ограничен локальной территорией промплощадки.

Результаты исследования доказывают безопасность и пригодность вскрышных пород угледобычи в качестве плодородного субстрата. Таким образом, восстановление нарушенных территорий может осуществляться в естественных условиях посредством развития первичных сукцессий на поверхности отвалов. Уже сейчас отвалы, эксплуатация которых завершилась в конце 1980 – 90-х гг., успешно интегрируются благодаря естественному развитию растительности, а местные биотопы превратились в особые места, которые являются частью окружающего природного пространства.

Подобная методология исследований также применима для рекультивации хранилищ отходов не только горнодобывающей, но и горно-перерабатывающей промышленности, а также для других видов отходов, различных по составу и происхождению. Например, на предприятиях химической промышленности по производству азотно-фосфорных удобрений образуется фосфогипс, который приравнивается к отходам производства, хотя, по сути, является побочным продуктом.

Ранее специалистами Горного университета было выполнено множество работ по обоснованию устойчивых параметров отвалов фосфогипса, использования его в качестве строительного

материала, например, дамб или дорог, также выполнено обобщение современных представлений о составе и свойствах фосфогипса и многое другое.

Таким образом, вопросы геомеханического обоснования оптимальных параметров отвалов фосфогипса достаточно хорошо изучены [19, 36].

Однако, имея практически полную картину условий формирования и эксплуатации отвалов, проблема рекультивации их поверхности остается открытой.

В зависимости от исходного состава руды, фосфогипс может содержать нежелательные примеси, такие, как тяжелые металлы, фтор и стронций и др. Поскольку нашей задачей является обеспечение рекультивации откосов самого отвала с закреплением почвенно-растительного слоя и озеленением поверхности, этот фактор играет все-таки второстепенную роль. Известно, фосфогипс применяют для улучшения качества почв как самостоятельный материал или в составе поликомпонентных смесей, что позволяет улучшать свойства почв и грунтов [37]. То есть отход технологического цикла одного предприятия может стать потенциальным сырьем для другого в качестве рекультиванта, самостоятельного или в составе смеси.

Установлено, что основной проблемой рекультивации являются специфические особенности фосфогипса. В отвал он попадает в виде полугидрата сульфата кальция, который является неустойчивым материалом. Химические процессы при его твердении заключаются в гидратации и превращении его в дигидрат. Поэтому твердость материала не дает растительности долгое время закрепиться на поверхности. Таким образом, предложенная выше методика исследований может быть использована для оценки эффективности применения отхода производства фосфорной кислоты в качестве самостоятельного рекультиванта.

Заключение

Согласно геоэкологической оценке к основным видам неблагоприятных воздействий отвальных горнотехнических сооружений относятся: изъятие из сфер сельскохозяйственного и лесного фонда значительных площадей земли для размещения отходов производства; формирование техногенных ландшафтов и, как следствие, изменение природных рельефа, водотоков, почв, климата и пр. Возмещение нанесенного экологического ущерба предполагает осуществление рекультивации, включающей биологический этап. Отсутствие достаточных объемов рекультиванта для выполнения данного мероприятия предопределяет возможность повторного использования отходов производства в качестве плодородного субстрата.

Исследования, выполненные на отвалах вскрышных пород угольных месторождений Кузбасса, показали благоприятные для произрастания растительности агрофизические и химические свойства.

Результаты исследований, представленные в статье, подходят для широкого применения на межотраслевом уровне, в области охраны окружающей среды, геомеханического и экологического мониторинга, выполнения технико-экономических обоснований и рационального природопользования. Обеспечение устойчивых параметров отвальных сооружений позволит снизить риск возникновения на предприятиях аварийных ситуаций, таких как оползни, оплывины, обвалы и т.д.

Использование рекультиванта на основе вторичных минеральных ресурсов, в том числе вскрышных пород, позволит снизить затраты за счет вовлечения отходов производства в целях рекультивации, а также инициирования естественных процессов восстановления нарушенных земель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А., Мухина А. С. Мосейкин В. В. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы восстановления нарушенных земель при отвалообразовании на открытой угледобыче в Кузбассе // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5. — С. 5–24. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_5.
2. Тагаева Т. О., Гильмундинов В. М., Казанцева Л. К. Проблема накопления отходов в отраслях добывающей промышленности РФ // ЭКО. — 2019. — № 9. — С. 117–131. DOI: 10.30680/ЕСО0131-7652-2019-9-117-131.
3. Копытов А. И., Новоселов С. В., Куприянов А. Н., Куприянов О. А. Тенденции развития угольной промышленности Кузбасса и перспективы восстановления природных экосистем в аспекте энергетического перехода до 2050 г. // Уголь. — 2024. — № 3. — С. 87–93. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-87-93.
4. Корнеева Е. В. Промышленные отходы для закладки выработанных пространств угольных и рудных шахт Кузбасса // Вестник ВСГУТУ. — 2024. — № 1(92). — С. 97–106. DOI: 10.53980/24131997_2024_1_97.
5. Smirnov Y. D., Suchkov D. V., Danilov A. S., Goryunova T. V. Artificial soils for restoration of disturbed land productivity // Eurasian Mining. 2021, vol. 36, no. 2, pp. 92–96. DOI: 10.17580/em.2021.02.19.
6. Мироненко И. А., Протасов С. И. Принципы выбора вариантов технических решений для разработки и перемещения пород гидроотвала на новое место // Вестник КузГТУ. — 2019. — № 1 (131). — С. 59–65. DOI: 10.26730/1999-4125-2019-1-59-65.
7. Гаврилов В. Л., Ческидов В. И., Хоютанов Е. А., Резник А. В., Немова Н. А. Условия и закономерности формирования внутренних отвалов при открытой разработке угольных месторождений брахисинклинального типа // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2022. — № 6. — С. 112–123. DOI: 10.15372/FTPRP120220612.
8. Галкин В. И., Середин В. В., Алванян К. А., Гайнанов Ш. Х. Моделирование адсорбционной способности глин на стадиях литогенеза // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2023. — № 2. — С. 133–147. DOI: 10.46689/2218-5194-2023-2-1-133-147.
9. Маринин М. А., Карасев М. А., Поспехов Г. Б., Поморцева А. А., Кондакова В. Н., Сушкова В. И. Комплексное изучение фильтрационных свойств окомкованных песчано-глинистых руд и режимов фильтрации в штабеле кучного выщелачивания // Записки Горного института. — 2023. — Т. 259. — С. 30–40. DOI: 10.31897/PMI.2023.7.
10. Мироненко И. А., Протасов С. И. Принципы выбора вариантов технических решений для разработки и перемещения пород гидроотвала на новое место // Вестник КузГТУ. — 2019. — № 1 (131). — С. 59–65. DOI: 10.26730/1999-4125-2019-1-59-65.
11. Мустафин М. Г., Валькова Е. О. Маркшейдерско-геомеханическое обоснование методики наблюдений за деформациями бортов карьеров // Уголь. — 2024. — № 7(1182). — С. 55–61. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-7-55-61.
12. Жабко А. В. О проблемах и современных методах оценки устойчивости откосов на открытых горных работах // Проблемы недропользования. — 2018. — № 3(18). — С. 96–107. DOI: 10.25635/2313-1586.2018.03.096.
13. 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.
14. Семина И. С., Соловьев С. В., Андроханов В. А., Костерев В. Б. Оценка современного восстановления биогеоценозов на рекультивированных территориях отходами углебогачения // Экология и промышленность России. — 2024. — Т. 28. — № 8. — С. 54–59. DOI: 10.18412/1816-0395-2024-8-54-59.
15. Куликова А. А., Овчинникова Т. И. Региональный критерий отнесения горнопромышленных регионов к территориям с наибольшей подверженностью геоэкологическим изменениям // Устойчивое развитие горных территорий. — 2023. — Т. 15. — № 1. — С. 27–34. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-1-27-34.
16. Petrova T. A., Rudzisha E., Alekseenko A. V., Pashkevich M. A., Bech J. Rehabilitation of disturbed lands with industrial wastewater sludge // Minerals. 2022, vol. 12, no. 3, article 376. DOI: 10.3390/min12030376.

17. Чукаева М. А., Матвеева В. А., Сверчков И. П. Комплексная переработка высокоуглеродистых золошлаковых отходов // Записки Горного института. — 2022. — Т. 253. — С. 97–104. DOI: 10.31897/PMI.2022.5.
18. Philipps R., Dachroth W. Rekultivieren von Halden, Deponien und Tagebauen / Handbuch der Baugeologie und Geotechnik. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 2017, pp. 649–662. DOI: 10.1007/978-3-662-46886-9_16.
19. Кутепов Ю. Ю., Карасев М. А. Изучение и прогноз уплотнения фосфогипса в отвалах для обоснования их вместимости // Горный журнал. — 2023. — № 5. — С. 61–67. DOI: 10.17580/gzh.2023.05.09.
20. Павлович А. А., Хорева А. Ю. Определение прочностных свойств отвальной массы для оценки устойчивости откосов отвалов // Горный журнал. — 2023. — № 5. — С. 55–61. DOI: 10.17580/gzh.2023.05.08.
21. Mikhailov V. V., Ponomarenko M. V., Sobolevsky V. Simulation of phytomass dynamics of plant communities based on artificial neural networks and NDVI / Recent Advances in environmental science from the euro-mediterranean and surrounding regions, 2nd ed. Springer, Cham. 2021, pp. 1335–1339. DOI: 10.1007/978-3-030-51210-1_211.
22. Бурлуцкий С. Б., Танинкова В. С., Глазунов В. В. Уточнение оценки устойчивости оползневого склона с использованием материалов геофизических исследований // Инженерные изыскания. — 2020. — № 3. — С. 58–67. DOI: 10.25296/1997-8650-2020-14-3-58-67.
23. Андропова В. С., Шпилова А. М. Современные изменения рельефа на территории Кузнецкого каменноугольного бассейна под влиянием открытых горных работ // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. — 2020. — № 4(34). — С. 25–28.
24. Бахаева С. П., Тур К. А., Илюшкин В. Д. Геомеханическое обоснование устойчивости отвала при совместном складировании вскрышных песчано-глинистых пород и отходов обогащения // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2020. — № 4(140). — С. 49–59. DOI: 10.26730/1999-4125-2020-4-49-59.
25. Лесничий Л. И., Гриценко К. И. Метод прогноза сезонных изменений водопритока к подземным горным выработкам на основе модели водосбора с сосредоточенными параметрами // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. — 2023. — № 6. — С. 79–83. DOI: 10.31857/S086978092306005X.
26. Шабаров А. Н., Куранов А. Д. Основные направления развития горнодобывающей отрасли в усложняющихся горнотехнических условиях ведения горных работ // Горный журнал. — 2023. — № 5. — С. 5–34. DOI: 10.17580/gzh.2023.05.01.
27. Ческидов В. В. Гидрогеомеханический мониторинг состояния откосных сооружений // Горная промышленность. — 2017. — № 4 (134). — С. 78. EDN: ZGFMOH.
28. Seredin V. V., Khrulev A. S., Andreiko S. S., Galkin V. I. Possibilities for calculating the stress state of rocks during their uniaxial tension and compression / AIP Conference Proceedings. 2020, vol. 2216, no. 1, article 020011. DOI: 10.1063/5.0003676.
29. Яницкий Е. Б. Расчет порового давления в основании отвала горных пород при его формировании // Маркшейдерия и недропользование. — 2022. — № 6(122). — С. 52–58. DOI: 10.56195/20793332_2022_6_52_58.
30. Misebo A. M., Pietrzykowski M., Woś B. Soil carbon sequestration in novel ecosystems at post-mine sites—A new insight into the determination of key factors in the restoration of terrestrial ecosystems // Forests. 2022, vol. 13, no. 1. 63. DOI: 10.3390/f13010063.
31. Семина И. С., Андроханов В. А. Геохимический фон в молодых почвах на рекультивированных участках с использованием отходов углеобогащения // Уголь. — 2022. — № 6. — С. 74–79. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-6-74-79.
32. Lebrun M., Macri C., Miard F., Hattab-Hampli N., Motelica-Heino M., Morabito D., Bourgerie S. Effect of biochar amendments on As and Pb mobility and phytoavailability in contaminated mine technosols phytoremediated by salix // Journal of Geochemical Exploration. 2017, vol. 182, pp. 149–156. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.11.016.
33. Vasilenko T. A., Islamov A., Doroshkevich A. S., Ludzik K., Chudoba D., Kirillov A., Mita C. Permeability of a coal seam with respect to fractal features of pore space of fossil coals // Fuel. 2022, vol. 329, article 125113. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.125113.

34. Комарова А. Г., Чикишева Т. А., Прокопьев Е. С., Прокопьев С. А.. Формы нахождения потенциально ценных компонентов в отходах углеобогащительной фабрики «Краснобродская-Коксовая» // Уголь. – 2023. – № 9(1171). – С. 100 – 104. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-100-104.

35. Carlson J., Saxena J., Basta N., Hundal L., Busalacchi D., Dick R. Application of organic amendments to restore degraded soil: Effects on soil microbial properties // Environmental Monitoring and Assessment. 2015, vol. 187, article 109. DOI: 10.1007/s10661-015-4293-0.

36. Zeng L., Bian X., Weng J., Zhang T. Wetting-drying effect on the strength and microstructure of cement-phosphogypsum stabilized soils // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2024, vol. 16, no. 3, pp. 1049 – 1058. DOI: 10.1016/j.jrmge.2023.06.022.

37. Горленко А. С., Воронина Л. В., Яковлев А. С., Поздняков Л. А., Федорова О. А. Оценка воздействия искусственного почвогрунта на основе отхода производства фосфорных удобрений (фосфогипса) на жизнедеятельность почвенных микроорганизмов // Агрехимический вестник. – 2022. – № 1. – С. 59 – 65. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-1-011. **МИАБ**

REFERENCES

1. Kutepov Yu. I., Kutepova N. A., Mukhina A. S., Moseykin V. V. Geological, geotechnical and geoecological problems of reclamation of land disturbed by dumping in open pit coal mining in Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 5, pp. 5 – 24. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_5.

2. Tagaeva T. O., Gilmundinov V. M., Kazantseva L. K. The problem of accumulating industrial mining waste in the Russian Federation. *EKO.* 2019, no. 9, pp. 117 – 131. [In Russ]. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2019-9-117-131.

3. Копытов А. И., Новоселов С. В., Куприянов А. Н., Куприянов О. А. Trends in the development of the Kuzbass coal industry and prospects for the restoration of natural eco systems in the aspect of energy transition until 2050. *Ugol'.* 2024, no. 3, pp. 87 – 93. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-87-93.

4. Korneeva E. V. Industrial waste for backfilling goaf spaces in coal and ore mines in Kuzbass. *ESSUTM Bulletin.* 2024, no. 1(92), pp. 97 – 106. [In Russ]. DOI: 10.53980/24131997_2024_1_97.

5. Smirnov Y. D., Suchkov D. V., Danilov A. S., Goryunova T. V. Artificial soils for restoration of disturbed land productivity. *Eurasian Mining.* 2021, vol. 36, no. 2, pp. 92 – 96. DOI: 10.17580/em.2021.02.19.

6. Mironenko I. A., Protasov S. I. Reduction of coal losses by combined open cast and underground mining of peripheral reserves from the pit side. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University.* 2019, no. 1 (131), pp. 59 – 65. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2019-1-59-65.

7. Gavrilov V. L., Cheskidov V. I., Khoyutanov E. A., Reznik A. V., Nemova N. A. Specifics of open pit mining in brachysyncline-type coalfields. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh.* 2022, no. 6, pp. 112 – 123. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRPI20220612.

8. Galkin V. I., Seredin V. V., Alvanian K. A., Gainanov Sh. Kh. Modeling the adsorption ability of clays at the stages of lithogenesis. *News of the Tula state university. Sciences of Earth.* 2023, no. 2, pp. 133 – 147. [In Russ]. DOI: 10.46689/2218-5194-2023-2-1-133-147.

9. Marinin M. A., Karasev M. A., Posphehov G. B., Pomortseva A. A., Kondakova V. N., Sushkova V. I. Comprehensive study of filtration properties of pelletized sandy clay ores and filtration modes in the heap leaching stack. *Journal of Mining Institute.* 2023, vol. 259, pp. 30 – 40. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2023.7.

10. Mironenko I. A., Protasov S. I. Reduction of coal losses by combined open cast and underground mining of peripheral reserves from the pit side. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University.* 2019, no. 1 (131), pp. 59 – 65. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2019-1-59-65.

11. Mustafin M. G., Valkova E. O. Surveying and geomechanical justification for the methods of quarry sides deformations observation. *Ugol'.* 2024, no. 7(1182), pp. 55 – 61. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-7-55-61.

12. Zhabko A. V. On problems and modern methods of evaluating the stability of slides on open mountain works. *Problems of Subsoil Use.* 2018, no. 3(18), pp. 96 – 107. [In Russ]. DOI: 10.25635/2313-1586.2018.03.096.

13. Petrova T. A., Rudzisha E. Utilization of sewage sludge as an ameliorant for reclamation of technogenically disturbed lands. *Journal of Mining Institute.* 2021, vol. 251, pp. 767 – 776. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.16.

14. Semina I., Soloviev S., Androkhanov V., Kosterev V. Assessment of modern restoration of biocenoses in reclaimed areas with coal enrichment waste. *Ecology and Industry of Russia*. 2024, vol. 28, no. 8, pp. 54–59. [In Russ]. DOI: 10.18412/1816-0395-2024-8-54-59.

15. Kulikova A. A., Ovchinnikova T. I. A regional criterion for classifying mining regions as territories with the greatest exposure to geocological changes. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 1, pp. 27–34. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-1-27-34.

16. Petrova T. A., Rudzisha E., Alekseenko A. V., Pashkevich M. A., Bech J. Rehabilitation of disturbed lands with industrial wastewater sludge. *Minerals*. 2022, vol. 12, no. 3, article 376. DOI: 10.3390/min12030376.

17. Chukaeva M. A., Matveeva V. A., Sverchkov I. P. Complex processing of high-carbon ash and slag waste. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 253, pp. 97–104. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.5.

18. Philipps R., Dachroth W. Rekultivieren von Halden, Deponien und Tagebauen. *Handbuch der Baugelogie und Geotechnik*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 2017, pp. 649–662. DOI: 10.1007/978-3-662-46886-9_16.

19. Kutepov Yu. Yu., Karasev M. A. Analysis and prediction of phosphogypsum compaction in dumps for dump capacity substantiation. Analysis and prediction of phosphogypsum compaction in dumps for dump capacity substantiation. *Gornyi Zhurnal*. 2023, no. 5, pp. 61–67. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2023.05.09.

20. Pavlovich A. A., Khoreva A. Yu. Determination of strength properties for slope stability estimate in dumps. *Gornyi Zhurnal*. 2023, no. 5, pp. 55–61. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2023.05.08.

21. Mikhailov V. V., Ponomarenko M. V., Sobolevsky V. Simulation of phytomass dynamics of plant communities based on artificial neural networks and NDVI. *Recent Advances in environmental science from the euro-mediterranean and surrounding regions*, 2nd ed. Springer, Cham. 2021, pp. 1335–1339. DOI: 10.1007/978-3-030-51210-1_211.

22. Burlutskiy S. B., Taninkova V. S., Glazunov V. V. Refinement of the assessment of the stability of a landslide slope using materials from geophysical research. *Inzhenernye izyskaniya*. 2020, no. 3, pp. 58–67. [In Russ]. DOI: 10.25296/1997-8650-2020-14-3-58-67.

23. Andropova V. S., Shipilova A. M. Current state of relief of the territory of the kuznetsk coal basin due to open pit mining. *ESSUTM Bulletin*. 2020, no. 4(34), pp. 25–28. [In Russ].

24. Bakhaeva S. P., Tur K. A., Ilyushkin V. D. Geomechanical substantiation of the dump stability during joint storage of overburden sandy-clayey rocks and beneficiation waste. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2020, no. 4(140), pp. 49–59. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2020-4-49-59.

25. Lesnichii L. I., Gritsenko K. I. Method of predicting seasonal variations in water inflow to underground mine workings using the water catchment model with concentrated parameters. *Geokologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 2023, no. 6, pp. 79–83. [In Russ]. DOI: 10.31857/S086978092306005X.

26. Shabarov A. N., Kuranov A. D. Basic development trends in mining sector in complicating geo-technical conditions. *Gornyi Zhurnal*. 2023, no. 5, pp. 5–34. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2023.05.01.

27. Hydrogeomechanical monitoring of the condition of slope structures. *Russian Mining Industry Journal*. 2017, no. 4 (134), pp. 78. [In Russ]. EDN: ZGFM0H.

28. Seredin V. V., Khrulev A. S., Andreiko S. S., Galkin V. I. Possibilities for calculating the stress state of rocks during their uniaxial tension and compression. *AIP Conference Proceedings*. 2020, vol. 2216, no. 1, article 020011. DOI: 10.1063/5.0003676.

29. Yanitsky E. B. Calculation of pore pressure at the base of a rock dump during its formation. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2022, no. 6(122), pp. 52–58. [In Russ]. DOI: 10.56195/20793332_2022_6_52_58.

30. Misebo A. M., Pietrzykowski M., Woś B. Soil carbon sequestration in novel ecosystems at post-mine sites—A new insight into the determination of key factors in the restoration of terrestrial ecosystems. *Forests*. 2022, vol. 13, no. 1. 63. DOI: 10.3390/f13010063.

31. Semina I. S., Androkhanov V. A. Geochemical background in semimature soils made on reclaimed sites using coal waste. *Ugol'*. 2022, no. 6, pp. 74–79. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-6-74-79.

32. Lebrun M., Macri C., Miard F., Hattab-Hambli N., Motelica-Heino M., Morabito D., Bourgerie S. Effect of biochar amendments on As and Pb mobility and phytoavailability in contaminated mine technosols phytoremediated by salix. *Journal of Geochemical Exploration*. 2017, vol. 182, pp. 149–156. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.11.016.

33. Vasilenko T. A., Islamov A., Doroshkevich A. S., Ludzik K., Chudoba D., Kirillov A., Mita C. Permeability of a coal seam with respect to fractal features of pore space of fossil coals. *Fuel*. 2022, vol. 329, article 125113. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.125113.

34. Komarova A. G., Chikisheva T. A., Prokopiev E. S. & Prokopiev S. A. Occurrence form of potentially valuable components in the Krasnobrodskaya-Koksovaya coal-processing plant waste. *Ugol'*. 2023, no. 9(1171), pp. 100–104. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-100-104.

35. Carlson J., Saxena J., Basta N., Hundal L., Busalacchi D., Dick R. Application of organic amendments to restore degraded soil: Effects on soil microbial properties. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015, vol. 187, article 109. DOI: 10.1007/s10661-015-4293-0.

36. Zeng L., Bian X., Weng J., Zhang T. Wetting-drying effect on the strength and microstructure of cement-phosphogypsum stabilized soils. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2024, vol. 16, no. 3, pp. 1049–1058. DOI: 10.1016/j.jrmge.2023.06.022.

37. Gorenko A. S., Voronina L. V., Yakovlev A. S., Pozdnyakov L. A., Fedorova O. A. Assessment of the impact of artificial soil based on the waste of production of phosphorus fertilizers (phosphogypsum) on the vital activity of soil microorganisms. *Agrochemical Herald*. 2022 no. 1, pp. 59–65. [In Russ]. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-1-011.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кутепов Юрий Иванович¹ — д-р техн. наук, профессор,
зав. лабораторией, e-mail: koutepovy@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3698-3072,

Кутепова Надежда Андреевна¹ — д-р техн. наук,
главный научный сотрудник, e-mail: koutepovy@mail.ru,

Мухина Александра Сергеевна¹ — канд. техн. наук,
научный сотрудник, e-mail: aleksandra_sergeevna94@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0707-8914,

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Для контактов: Кутепов Ю.И., e-mail: koutepovy@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yu.I. Kutepov¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Head of Laboratory, e-mail: koutepovy@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3698-3072,

N.A. Kutepova¹, Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher,
e-mail: koutepovy@mail.ru,

A.S. Mukhina¹, Cand. Sci. (Eng.), Researcher,
e-mail: aleksandra_sergeevna94@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0707-8914,

¹ Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University,
199106, Saint-Petersburg, Russia,

Corresponding author: Yu.I. Kutepov, e-mail: koutepovy@mail.ru.

Получена редакцией 17.06.2024; получена после рецензии 05.08.2024; принята к печати 10.11.2024.

Received by the editors 17.06.2024; received after the review 05.08.2024; accepted for printing 10.11.2024.

