

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРИ ОТВАЛООБРАЗОВАНИИ НА ОТКРЫТОЙ УГЛЕДОБЫЧЕ В КУЗБАССЕ

Ю.И. Кутепов¹, Н.А. Кутепова¹, А.С. Мухина¹, В.В. Мосейкин²

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

² ГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

Аннотация: Рассмотрены аспекты обеспечения рекультивации внешних отвалов на угольных месторождениях Кузбасса. Открытая угледобыча в регионе сопряжена с проблемой рационального размещения вскрышных пород в отвалы и последующего восстановления нарушенных отвальными работами земель. На основании анализа научно-технической литературы, горно-геологических условий объектов, натурного и лабораторного изучения техногенных отложений выделены основные факторы, определяющие формирование природно-технических систем (ПТС) и степень их влияния на окружающую природную среду. Исследуемые территории, занятые отвалами, характеризуются изменением естественного ландшафта и формированием нового — техногенного (присваивающего типа), кардинально отличающегося от исходного. Рассмотрены особенности инженерно-геологических условий отвалообразования в регионе в зависимости от состава вскрышных пород и развития процессов техногенеза, определяющие устойчивость откосов горнотехнических сооружений. Отмечено естественное восстановление плодородия нарушенных при размещении отвалов земель за счет формирования на их поверхностях техногенного элювия. Обоснована возможность рекультивации гидроотвалов отсыпкой на их поверхностях отвалов сухих пород различной мощности в зависимости от потребностей предприятия по размещению вскрышных пород. Приведены результаты исследований, доказывающие возможность использования вскрыши угольных месторождений в качестве безопасных и потенциально плодородных пород для биологической рекультивации. Разработаны рекомендации по выбору способа и технологии рекультивации в зависимости от свойств вскрышных пород, типа и параметров отвальных ПТС.

Ключевые слова: инженерно-геологические условия, геоэкологические условия, уголь, внешний отвал, гидроотвал, рекультивация, плодородный слой, техногенный ландшафт.

Для цитирования: 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.

Geological, geotechnical and geoecological problems of reclamation of land disturbed by dumping in open pit coal mining in Kuzbass

Yu.I. Kutepov¹, N.A. Kutepova¹, A.S. Mukhina¹, V.V. Moseykin²

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

² Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia

Abstract: The article discusses reclamation of external dumps in coal fields in Kuzbass. Open pit coal mining in this region necessitates efficient overburden dumping and subsequent reclamation of dumping-disturbed land. Based on the scientific and technical literature review, auditing of geological conditions, as well as in-situ and lab-scale studies of manmade deposits, the main factors which govern formation of natural-and-technical systems and their influence on the natural environment are revealed. The test dumping areas feature the change in the natural landscape and the origination of another manmade (adoptive) landscape which drastically differs from the initial terrain. The geotechnical conditions of dumping in the region are analyzed as function of composition of overburden and progression of technogenesis processes which govern stability of geotechnical slopes. It is highlighted that fertility of land disturbed by dumping recovers owing to generation of manmade eluvium on the land surface. It is justified that reclamation of hydraulic fills is possible through dry rock dumping on their surface, at different thickness depending on needs of a mine. The research findings prove usability of overburden in coal mining as safe and potentially fertile soil for biological reclamation. The recommendations on the selection of reclamation methods and technologies subject to properties of overburden, as well as type and parameters of dumps as a natural-and-technical system are given.

Key words: geological and geotechnical conditions, geoecological conditions, coal, external dump, hydraulic fill, reclamation, fertile layer, manmade landscape.

For citation: 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;(5):5-24. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_5.

Введение

Кузнецкий угольный бассейн занимает лидирующие позиции в мире по извлечению из недр высококачественного каменного угля. По состоянию на 2021 г. годовой объем добычи превысил отметку 220 млн т, и в дальнейшем планируется его увеличение, несмотря на мировой тренд развития экономики, связанный с декарбонизацией и переходом на использование альтернативных источников энергии. В Кемеровской обла-

сти традиция использования твердого топлива продолжает сохраняться, при этом уголь здесь занимает до 96% от всего объема топливных и 76% энергетических ресурсов [1]. Интенсивное освоение угольных месторождений в регионе здесь существенно сказалось на экологическом состоянии природной среды за счет образования значительных объемов отходов производств. Так, по последним статистическим данным в результате промышленно-хозяйственной

деятельности человека здесь ежегодно накапливаются отходы в объеме около 3,6 млрд т, что равно примерно половине всех образовавшихся отходов страны (7,3 млрд т).

Угольная промышленность Кузбасса обеспечивает 60% от общих объемов добываемого в РФ угля, используя как подземный, так и открытый способ разработки. Доля последнего постоянно увеличивается, и в настоящее время достигла 60%. Одним из сдерживающих факторов развития данного способа разработки является возрастание объемов вскрышных работ, требующих ежегодного изъятия земель из сфер лесного и сельского хозяйства для размещения пустых пород в отвалы, зачастую высокого качества, подготовленных и достаточно хорошо освоенных, расположенных обычно в непосредственной близости от горных выработок разрезов, инфраструктурных объектов и населенных пунктов [2]. Таких земель, как правило, нет, либо они уже заняты под различные горнотехнические объекты.

Данные обстоятельства нарушают сформировавшуюся в горнодобывающих отраслях концепцию рационального землепользования и весьма существенно сказываются на экологии районов, ухудшая здесь условия жизнедеятельности людей.

Отмеченная тенденция хорошо иллюстрируется увеличением в период с 2010 г. по настоящее время удельной площади нарушенных открытым способом земель в регионе с 7,8 до 16,4 га на млн т добытого угля. Снижение данного показателя до разумных значений требует разработки специальных мероприятий, в том числе, по обоснованию оптимальных параметров отвальных сооружений на основе комплексного изучения инженерно-геологических и геоэкологических условий с учетом требования рекультивации нарушенных земель.

Анализ изученности

Проблема обеспечения безопасности отвальных работ на разрезах и карьерах оформилась в пред- и послевоенные периоды времени, когда открытый способ добычи стал интенсивно применяться при разработке рудных и угольных месторождений. В частности, в Кузбассе началом открытой угледобычи следует считать 1948–1949 гг., когда были введены в строй разрезы «Краснобродский» и «Бачатский» и появились первые объемы вскрышных пород. Их транспортировка осуществлялась во внешние отвалы, а с 1951 г., когда стала применяться гидромеханизация, — в гидроотвалы. Изучением процессов отвалообразования на разрезах занимались известные ученые-горняки Г.Л. Фисенко, Н.Н. Малюшицкий, С.И. Попов, Г.А. Нурок и др.

Разработке геомеханического и инженерно-геологического обоснования параметров отвальных сооружений посвящены работы А.М. Гальперина [3, 4], Ю.И. Кутепова [4–6], Н.А. Кутеповой [5–7], С.П. Бахасовой [8, 9], А.Д. Васильевой [6,10], В.В. Мосейкина [3, 4], В.В. Ческидова [11–13], А.В. Жабко [14] и др. Их анализ позволяет сделать вывод о достаточно хорошо разработанных теоретических и научно-методических основах управления устойчивостью откосов отвалов и гидроотвалов. Однако экологические аспекты обеспечения отвальных работ практически остались вне зоны рассмотрения. Существующие научные исследования посвящены либо классическим способам рекультивации отвалов: планировка поверхности (горнотехнический этап) — нанесение плодородного слоя + посадка растений (биологический этап) (В.А. Андроханов [15–17], И.С. Семин [17, 18], А.М. Шпилова [17, 18], В.П. Жариков [19]), либо направлены на изучение свойств отдельных нарушен-

ных природных компонентов, не учитывая всего комплекса рекультивационных работ, в частности, формирование на поверхности техногенного элювия и почв.

Наметившаяся в последнее десятилетие тенденция сокращения площадей под отвальные сооружения за счет внедрения высоких (от 100 до 300 м) и сверхвысоких отвалов (более 300 м) привела к созданию сложнейших отвальных природно-технических систем, рекультивация которых не может быть выполнена стандартными способами. Угольные компании инвестируют в развитие собственной логистики, модернизацию действующих мощностей, контроль устойчивости горнотехнических сооружений, однако вопросам ликвидации последствий негативного влияния техногенных массивов на природную среду и восстановления нарушенных земель по-прежнему уделяется недостаточно внимания. В результате развития в отвальных сооружениях различных процессов и явлений [20 – 22], нарушения последовательности этапов восстановления территорий, недостатка рекультиванта происходит снижение рентабельности проведения рекультивации нарушенных земель, которая зачастую фактически сводится к нулю.

Постановка проблемы

Важнейшими проблемами открытой разработки угольных месторождений является рациональное использование земель для формирования отвальных природно-технических комплексов. Их площади постоянно возрастают, существенно изменяя экологическое равновесие территорий. В частности, в Кузбассе доля нарушенных при открытой разработке угля земель в 10 раз превышает средний показатель по России. В настоящий момент времени коэффициент вскрыши в среднем по региону достиг значений 11 м³ на 1 т добываемого угля,

что предопределяет необходимость ежегодно извлекать из недр и перемещать в отвалы около 1,5 млрд т вскрышных пород, для которых, по самым скромным подсчетам, требуется более 2 тыс. га земель. Необходимость размещения таких объемов вскрыши в условиях определенного дефицита земельных ресурсов предполагает постановку и решение проблемы увеличения емкости формирующихся техногенных объектов, не вписывающихся в существующие природные ландшафты, требует выполнения специального комплекса исследований различной направленности, в первую очередь, инженерно-геологической, гидрогеологической и геоэкологической.

Одной из основных задач при обосновании оптимальных параметров отвальных сооружений является изучение процессов формирования и преобразования состава, состояния и свойств пород отвалов и их естественных оснований. Важнейшим моментом при этом является получение зависимостей изменения физико-механических и водных свойств пород с ростом нормальных нагрузок при увеличении высоты техногенных массивов. Последними исследованиями процессов техногенеза отвальных пород Кузбасса при увеличении уплотняющих напряжений отмечено существенное уменьшение их углов внутреннего трения и коэффициентов фильтрации. Эти изменения сказываются на устойчивости откосов как за счет непосредственного снижения удерживающих сил вследствие уменьшения внутреннего трения пород, так и гидростатического взвешивания при формировании в техногенном массиве безнапорного водоносного горизонта, а иногда и избыточного порового давления [6, 10].

Другим наиболее важным аспектом при отвалообразовании на разрезах Кузбасса является функционирование в природной среде новой природно-техниче-

ской системы (ПТС), которая длительное время остается неуравновешенной, изменяется по времени, подстраиваясь под новые нагрузки и воздействия [10]. Скорейший возврат ее в сферу рационального землепользования требует выполнения специальных исследований и разработки мероприятий, направленных, в том числе, на возврат занятых территорий посредством производства рекультивационных работ. Мероприятия по поэтапной рекультивации высоких отвальных сооружений должны базироваться на изучении изменения геоэкологических условий, включая исследования процессов формирования техногенного элювия [19, 23] и образования

почв, обладающих достаточным для произрастания определенных видов растительности плодородием [16].

Методология

В настоящее время на территории Кузбасса классическая рекультивация отвалов полного цикла практически не выполняется. Это связано главным образом с незавершенностью отработки большинства месторождений угля. Горные выработки при этом постоянно углубляются, а отвалы наращиваются по площади и высоте. Вторым не менее важным фактором является отсутствие на предприятиях рекультиванта — почвенно-растительного материала, необхо-

Методология проведения исследования (составлено авторами) Research methodology (authorial)

1. Изучение инженерно-геологических и геоэкологических условий отвалов (гидроотвалов)	1.1 Изучение природных условий района расположения объекта	Анализ научно-технической литературы
	1.2 Изучение инженерно-геологических и гидрогеологических условий	Инженерно-геологические изыскания
	1.3 Изучение состава и свойств техногенных пород, поступающих в отвал (гидроотвал)	Лабораторное изучение техногенных пород
	1.4. Изучение фактического экологического состояния нарушенных земель	Проведение натурных исследований, отбор проб, лабораторное изучение
	1.5. Определение потенциала вскрышных пород в качестве рекультиванта (изучение агрохимических и агрофизических свойств пород)	Анализ проб с поверхности отвала в лабораторных условиях
2. Обоснование параметров отвала, способа и направления рекультивации	2.1. Обоснование устойчивых параметров отвалов и гидроотвалов	Расчеты устойчивости откосов отвалов методами предельного равновесия и геомеханическим моделированием
	2.2. Обоснование способа и направления горнотехнической и биологической рекультивации	Теоретические исследования, моделирование
3. Мониторинг	3.1. Мониторинг устойчивости откосов отвалов	Методы деформационного, гидрогеологического, инженерно-геологического и других видов мониторинга
	3.2. Экологический мониторинг	Методы экологического мониторинга

димого для нанесения на поверхность техногенных массивов. Наличие среди отвальных сооружений большого количества гидроотвалов, поверхности которых длительное время недоступны для выполнения рекультивационных работ из-за низкой несущей способности слагающих их намывных пород, также усложняет рекультивацию данных объектов, отодвигая ее на неопределенное время.

Решение инженерно-технических задач по рекультивации отвалов следует осуществлять с использованием комплекса работ и исследований, направленных на изучение инженерно-геологических и геоэкологических условий образования техногенных ландшафтов в местах размещения отвалов. Они позволяют обосновать способы рекультивации, направленные на содействие естественным восстановительным процессам, обеспечивающие безопасные для окружающей среды условия формирования новых экосистем [24], возможно, с более предпочтительными характеристиками и свойствами, что позволит в конечном итоге достичь желаемого эколого-экономического эффекта. В таблице приведена методология проведения рекультивационных работ, базирующаяся на комплексности, последовательности и полноте исследований.

Характеристика отвалов сухих пород

При открытых горных работах в Кузбассе перемещение вскрышных пород в отвалы в различные годы осуществлялось автомобильным, железнодорожным [11, 25, 26] и гидравлическим транспортом [4, 7, 27], а также по бестранспортной технологии [25]. В настоящее время наибольшее распространение получил автомобильный транспорт, доля которого в общем объеме вскрыши достигла 97,3%. Данное обстоятельство опреде-

лило основной тип формируемых отвальных горнотехнических сооружений — внешние отвалы. Они характеризуются различными размерами в плане и по высоте. Так, площади отвальных сооружений изменяются от первых десятков до нескольких сотен га, высоты в случаях одноярусной отсыпки варьируют от 15 до 40 м, а при многоярусной — от 40 до 160 м. Результирующие углы откосов последних изменяются в диапазоне 12–26° в зависимости от высоты. Последними проектами отвалов на разрезах «Бачатский» и «Талдинский» предусматривается формирование сооружений высотой 300 м на площадях более 1000 га при емкостях до 2,5 млрд м³ [6].

Формирование свойств пород сухих отвалов определяется рядом технических и природных факторов, рассматриваемых нами в рамках единого процесса техногенеза [10]. Определяющими из них является исходный литологический состав вскрышной толщи и возраст пород. В частности, в отвалы на угольных разрезах Кузбасса отсыпаются в основном смеси песчаника и алевролита кольчугинской (P1-2) и балахонской серий (C1-P1) с небольшим количеством аргиллита, угля и неоген-четвертичного суглинки. Отложения кольчугинской серии характеризуются преобладанием глинистого цемента, а балахонской — карбонатного. Данные литологические разности попадают в отвал в нарушенном состоянии, смешиваются в определенных соотношениях, образуя техногенные массивы из пород, характеризующихся в целом достаточно значительными углами внутреннего трения (25–32°) и несущей способностью. Это позволяет безопасно передвигаться по поверхности отвала и работать различного горнотранспортному оборудованию.

Увеличение высоты отвальных сооружений приводит к изменению напряженного состояния пород под действием

возрастающей нагрузки от веса вышележащего отвального массива [28, 29]. При увеличении нормальной нагрузки происходит разрушение и уплотнение отсыпанного материала, сопровождающееся изменением гранулометрического состава отвальных пород, их физико-механических и водных свойств, в частности, пористости и проницаемости до значений, замедляющих отток воды из техногенного массива. Снижение проницаемости способствует при наличии определенного инфильтрационного питания формированию в массивах техногенного водоносного горизонта. При этом в откосных частях отвала появляются дополнительные силы, снижающие коэффициент запаса устойчивости, а именно: гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление.

Другой гидродинамической особенностью ведения отвальных работ на слабом основании является образование в последнем избыточного порового давления (ИПД), оно создается как результат воздействия веса отсыпанного отвала на водонасыщенный слабопроницаемый сжимаемый породный массив [5, 7]. При интенсивной отсыпке отвала образовавшееся в породах основания ИПД не рассеивается полностью и при дальнейшем их нагружении продолжает накапливаться до некоторых критических величин, при которых происходит нарушение устойчивости откоса формируемого отвала [4, 6, 7].

Особенности формирования намывных массивов гидроотвалов

На определенных этапах развития горных работ в Кузнецком бассейне широко использовалась гидромеханизация. С ее применением удален 1 млрд м³ вскрышных пород, в основном пылеватых суглинков неоген-четвертичного возраста. Данные объемы размещались в специальные отвальные сооружения —

гидроотвалы, количество которых в регионе составило 60 объектов с суммарной занимаемой площадью около 7000 га. По высоте намывные объекты изменяются от 4 до 76 м, площади — от 6 до 765 га, емкости — от 4 до 200 млн м³. Большая их часть размещалась в оврагах и балках строительством ограждающих дамб из привозного материала, два гидроотвала намыты на косогоре и имеют трехстороннее обвалование, два — на равнине при обваловании с четырех сторон, семь — в старых горных выработках [30]. Самым крупным намывным сооружением в регионе является гидроотвал на р. Еловка, параметры которого (высота, площадь и емкость) соответственно составляют 60 м, 765 га и 200 млн м³.

Намывные массивы гидроотвалов характеризуются значительной мощностью, сложены из слабопроницаемых пород суглинистого и глинистого состава, неоднородны в плане и разрезе по составу, состоянию и физико-механическим свойствам. Установленная неоднородность связана с фракционированием при намыве пульпы, т.е. разделением материала по крупности на пляже, и развитием процессов фильтрационной консолидации. Так, в Кузбассе при намыве в гидроотвалы дисперсных пород в среднем суглинистого состава отмечается формирование в намывных массивах зон песчано-супесчаных пород протяженностью обычно 10—15% от общей длины сооружения (L , м), суглинистых и глинистых пород соответственно 50—60% и 30—40% от L [6]. В вертикальном разрезе гидроотвалов наблюдается зональность, связанная с уплотнением пород, при этом намывной массив разделяется на подзоны текучих, мягкопластичных и тугопластичных пород, а иногда (при большой мощности намывных пород) — полутвердой и твердой консистенции. Подзона теку-

чих пород всегда приурочена к верхней части разреза и достигает обычно на момент прекращения намыва мощности 20—25 м. Несущая способность текучих осадков крайне мала и не может обеспечить проходимость практически любого горнотранспортного и сельскохозяйственного оборудования.

Горнотехнический этап рекультивации гидроотвалов

Поскольку гидроотвалы практически всегда находятся в непосредственной близости от горных выработок разреза, инфраструктуры угольных предприятий и населенных пунктов, то потенциально они представляют большой интерес для различных видов хозяйственной деятельности. Это связано в первую очередь с практически идеально ровной поверхностью намывного массива, характеризующейся углами наклона менее 30°. При определенных обстоятельствах она могла бы использоваться для сельскохозяйственных нужд. Однако сдерживающими факторами такого применения являются высокая обводненность намывных пород и их низкая несущая способность, которые на протяжении длительного периода существования сооружения не обеспечивают произрастание полезных растений, проходимость оборудования и его безопасную работу. Поэтому такие объекты для данных целей практически не используются, зарастая сорной влаголюбивой кустарниковой растительностью, непроходимой для человека в большинстве случаев.

Отсутствие земель для размещения отвалов вблизи горных выработок разрезов при наличии законсервированных гидроотвалов заставило обратить на них внимание как на потенциальные площадки под отвалы. Первые неудачные попытки сформировать на поверхности гидроотвалов отвальные насыпи из-за наличия слабого водонасыщенного осно-

вания предопределили необходимость разработки инженерно-геологического обоснования и технологий отвальных работ, базирующихся на отсыпке первого яруса отвала в режиме управляемого деформирования откосов [6, 20]. В общем виде отвалообразование на гидроотвалах следует рассматривать как необходимый этап их рекультивации — горнотехнический, при котором на намывную поверхность, недоступную ранее для работы механизмов, наносится слой более прочных пород, допускающих выполнение биологического этапа. Отсыпку отвалов при этом в зависимости от ряда ограничительных условий, главным образом, касающихся наличия определенных объемов вскрыши, следует рассматривать в двух аспектах: создание насыпей (рекультивационного слоя) минимальной высоты для обеспечения выполнения рекультивационных работ — при недостатке вскрышного материала; отсыпка отвала при устойчивых параметрах, обеспечивающих максимальную отвалоемкость территории гидроотвала — при избытке отвальных пород.

Для каждого из указанных вариантов краеугольным моментом является обоснование технологии отсыпки на «слабую» намывную поверхность первого яруса максимально и минимально возможной высотой. Решение вопроса выбора высоты отвального яруса, технологии и порядка отвалообразования требует выполнения исследований морфологии и механизмов геодинамических процессов [5, 20] в зависимости от применяемого технологического оборудования, а именно бульдозеров и экскаваторов (как драглайнов, так и мехлопат) при автомобильном и железнодорожном транспорте. Кроме того, следует разработать соответствующую методику прогнозирования развития деформаций в зависимости от инженерно-геоло-

гических условий гидроотвала и параметров отсыпаемых насыпей [5, 6].

Прогнозирование процессов замещения-выдавливания намывных пород насыпными предлагается осуществлять с использованием разработанной оригинальной методики, базирующейся на численном моделировании МКЭ в Эйлеровой постановке, реализованной в программном комплексе Abaqus/Explicit [5, 20]. Методика позволяет в зависимости от начальных условий намывного массива и принимаемой нагрузки от веса отсыпаемых насыпей получить картины изменения в пространстве формы и размеров нагруженного отвальным ярусом намывного массива, а также рельефа поверхности, создаваемой ПТС «гидроотвал + отвал». Данные об изменении макроструктуры системы являются основой дальнейших расчетов консолидации и устойчивости откосов формируемой системы.

В случае отсыпки рекультивационной насыпи минимальной высоты указанные прогнозы нужны для определения необходимых объемов отвальных пород и величин осадок поверхности насыпи отвала. Поскольку для гидроотвалов характерна плановая неоднородность по составу и деформационным свойствам пород, то очевидно, что осадки поверхности отвального яруса протекают неравномерно — в глинистой зоне значительно больше, чем в песчано-супесчаной. Изменение рельефа поверхности отвала следует учитывать при разработке мероприятий по рекультивации подобного объекта. В случае обоснования максимальных параметров ПТС «гидроотвал + отвал» полученная на первом этапе отсыпки отвала ее макроструктура в дальнейшем будет основой для выполнения расчетов избыточного порового давления в намывных породах и устойчивости откосов в зависимости от интенсивности формирования системы.

Результаты геоэкологических исследований на отвалах и гидроотвалах

Основным видом воздействия отвалов на окружающую природную среду являются изъятие земель для их размещения и, как следствие, изменение природных ландшафтов, нарушение функционирования естественных биоценозов, инженерно-геологических и гидрогеологических условий территорий. В некоторых случаях, например, при наличии во вскрышных породах и складированных отходах вредных компонентов, наблюдается загрязнение ими близлежащих территорий. Изменение ландшафта выражается в трансформации рельефа, климата, почв, растительного и животного мира и т.п. Рельеф в районах открытой разработки обычно либо равнинный, характеризующийся перепадами высот до 25 м и абсолютными отметками менее + 300 м, либо холмистый с высотной разницей от 25 до 200 м и абсолютными отметками до +500 м. Ретроспективный анализ изменения топографии территорий при размещении отвалов на разрезах Кузбасса показывает кардинальную его эволюцию от равнинного до холмистого в сторону горного с отметками выше + 500 м. Общеизвестна взаимосвязь рельефа и климата, которая может быть весьма разнообразна. В первую очередь климат обуславливает протекание процесса выветривания, в результате которого формируется на поверхности отвала слой техногенного элювия, а в последующем и почвы — среды для произрастания различных видов растительности.

При формировании отвалов с учетом последующей рекультивации их поверхности весьма важным экологическим вопросом является изучение закономерностей формирования техногенных почв, пригодных для произрастания растительности сельскохозяйственного и лесного

назначения. Данный процесс зависит от исходного вещественного состава пород вскрыши, определяя интенсивность их деструкции при попадании в отвал и синтез почвообразующих веществ, а далее аккумуляцию в техногенных ландшафтах. Состав пород также определяет физико-механические и водные свойства формирующейся почвы.

Отличительной особенностью отвальных пород разрезов Кузбасса является содержание в них значительного количества угля (в среднем 2–6%), роль которого в формировании плодородия почвенного субстрата, образующегося на поверхности отвала в результате процессов выветривания, весьма значительна. Известно, что уголь состоит из сложной смеси углеродсодержащих соединений с минеральными включениями, химический состав включает различные элементы: С, Н, О, N, S и пр. В процессе его образования в анаэробных условиях и дальнейшего метаморфизма происходит полимеризация ароматических структур и отщепление слабосвязанных групп в виде газов и паров [31, 32]. Поэтому в более метаморфизованных углях содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$) снижается с одновременным увеличением концентрации неорганического углерода. Следует при этом отметить, что по мере увеличения степени метаморфизма угли теряют реакционную способность, например, более углефицированные антрациты меньше подвержены выветриванию и самоокислению, чем бурые угли [33]. Характерным для угля также является высокая пористость и удельная поверхность, что позволяет ему поглощать большое количество полярных (воды) или заряженных молекул. Данное свойство называется адсорбционной способностью углей. В процессе их окисления происходит разложение органической составляющей с выделением CO_2 и образованием угольной кислоты, кото-

рая инициирует растворение связанных питательных веществ. Из-за специфических свойств угля (структуры пор и функциональных групп) избыток питательных веществ (например, нитратов, аммония и фосфатов) может накапливаться на поверхности угольных частиц, а затем медленно высвобождаться в процессе десорбции, что может уменьшить выщелачивание питательных веществ и увеличить их доступность для растений и микроорганизмов. Высокая адсорбционная способность также способствует удержанию токсичных веществ почвы (например, тяжелых металлов) на поверхности угольных частиц, поэтому они не поглощаются растениями, тем самым защищая их и грунтовые воды от загрязнения.

Другим весьма важным свойством угля является высокая емкость катионного обмена (ЕКО), которая объясняется значительной пористостью. ЕКО важный почвенный показатель, обуславливающий способность накапливать положительно заряженные ионы на поверхности, а затем снова делать их доступными для растений и микроорганизмов. Высокие значения ЕКО свидетельствует о том, что из почвы вымывается меньше минеральных и органических питательных веществ, что приводит к их удержанию и высокой доступности для растений.

Наличие во вскрыше частиц угля, благоприятный гидротермический режим поверхности отвальных сооружений вследствие процессов окисления углей [34], карбонатность пород вносят некоторые коррективы в выбор культур, в частности, в пользу растений, требовательных к повышенному уровню элементов зольного питания в субстрате (береза, липа, клен и др.) [16–18]. В свою очередь, образование устойчивого растительного покрова способствует задержанию почвообразующих веществ от выноса водой и ветром.

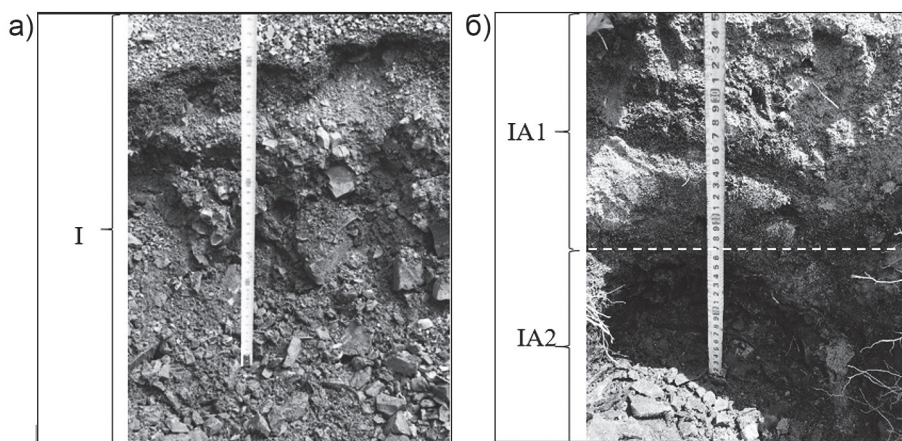


Рис. 1. Пример прикопок на поверхности отвальных сооружений: минимальная (а) и максимальная (б) мощность ТЭ (фото А. Мухиной). IA1 – гумусово-аккумулятивная зона; IA2 – аккумулятивно-элювиальная зона; I – техногенный горизонт

Fig. 1. Illustration of heel-in on the surface of dumps: minimal (a) and maximal (b) thickness of manmade eluvium (photo by A. Mukhina). IA1 – humus accumulation zone; IA2 – eluvium accumulation zone; I – manmade layer

Изучение процессов почвообразования на поверхностях отвалов и гидроотвалов в Кузбассе выполнялось в натуральных условиях способом проходок профильных прокопок с отбором образцов для лабораторного изучения. Данные исследования проводились на объектах с различным сроком создания — от свежесыпанных до сформированных более 50 лет тому назад из дезинтегрированных вскрышных пород кольчугинской и балахонской серий. На их

поверхностях под воздействием водной и ветровой эрозии образовался техногенный элювий различной мощности (рис. 1).

Анализ выполненных обследований позволяет сделать вывод о том, что формирование минимальных условий для развития корневых систем растений на поверхности отвала происходит только спустя определенное время после завершения отвальных работ и планировки поверхности. Наличие в отвальных

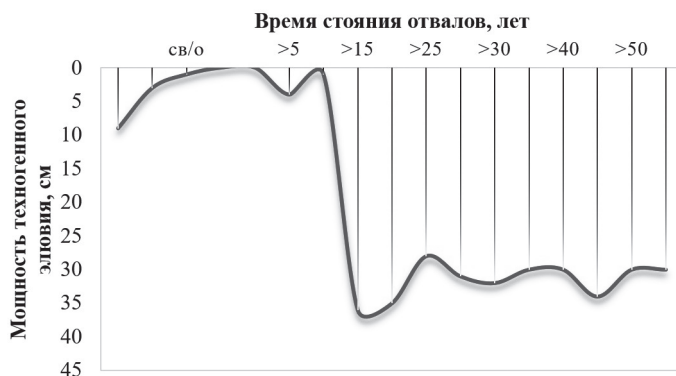


Рис. 2. Изменение мощности техногенного элювия во времени [составлено авторами]

Fig. 2. Time variations in thickness of manmade eluvium [compiled by authors]

породах угля и его окисление способствуют ускорению данных процессов, результатом которых является заселение поверхности пионерными растениями (развитие первичной сукцессии). В ходе натурального исследования установлено, что образованный техногенный элювий в первые годы составляет от 0 до 10 см, после чего происходит заметный скачок в сторону увеличения мощности до условно предельных значений 25–40 см (рис. 2).

Для оценки возможности формирования на поверхности отвала рекультивационного субстрата следует иметь информацию об его агрохимических свойствах и плодородии. Характерной особенностью данного материала является относительно повышенная плотность и неоднородность состава по пло-

щади и в разрезе. Стоит отметить, что при увеличении содержания органики в приповерхностном слое отвалов отмечается снижение плотности субстрата и изменение гранулометрического состава в сторону мелкозема. Полученный со временем субстрат характеризуется нейтральной и щелочной реакцией почвенного раствора (рН от 6,78 до 8,98).

Определение основных показателей, характеризующих плодородие отвальных пород выполнялось методами термогравиметрии (определение органики и $N_{\text{общ}}$) и спектрофотометрии (определение подвижного фосфора и калия). Результаты лабораторного исследования отобранных образцов на агрохимические показатели представлены на рис. 3. На диаграммах распределения концентраций в пробах наблюдается рост со-

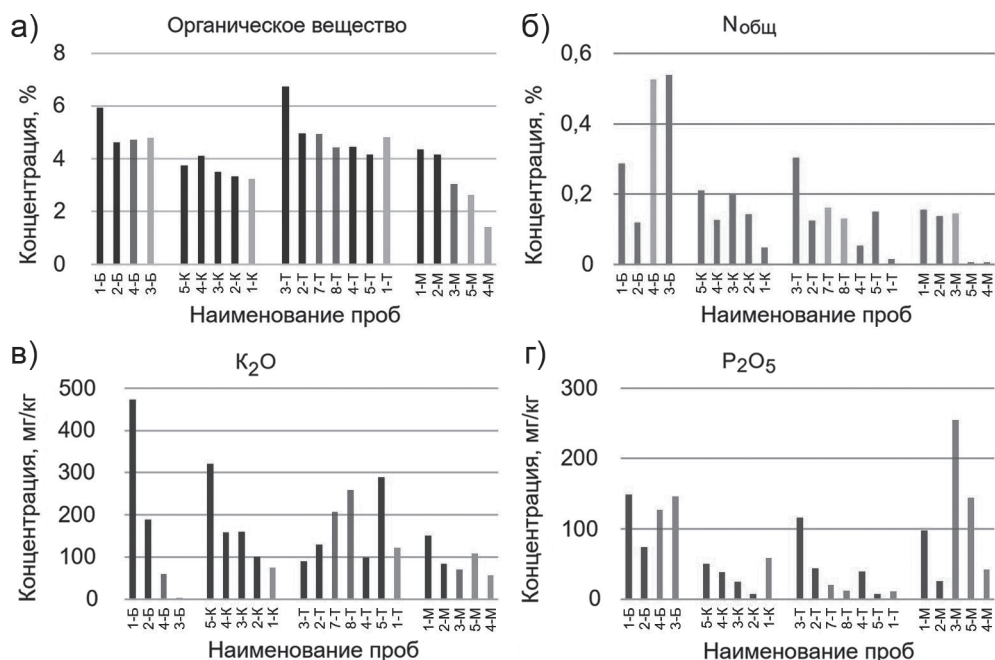


Рис. 3. Результаты лабораторного анализа агрохимических показателей проб [составлено авторами]: содержание органического вещества (а); содержание общего азота (б); содержание подвижного калия (в); содержание подвижного фосфора (г)

Fig. 3. Lab-scale test data of agrochemistry of samples [compiled by authors]: content of organic substance (a); content of total nitrogen (b); content of mobile potassium (v); content of mobile phosphorus (g)

держания питательных веществ с увеличением возраста отвальных сооружений и мощности техногенного элювия. Содержание органического вещества в анализируемых на агрохимические показатели образцах варьирует от 1,43% до 6,74% (рис. 3, а). Такое его повышение связано с обогащением толщи углистыми частицами и угольной пылью. Обеспеченность подвижным фосфором (рис. 3, з) и калием (рис. 3, в) изменяется от очень низкой до очень высокой (3,53 – 255 и 57 – 474 мг/кг соответственно). Содержание общего азота в пределах 0,01 – 1,09% (рис. 3, б). На рис. 3, в для отвалов Талдинского угольного разреза отмечается противоположная ситуация, где содержание обменного калия в отобранных пробах снижается по истечении нескольких лет. Данный факт объясняется низкой степенью выветрелости пород и отсутствием растительности, которая нуждается в питательных элементах, как на отвалах других разрезов. Следует при этом заметить, что данное предприятие является наиболее молодым по времени начала отработки.

Для подтверждения пригодности техногенного элювия, образовавшегося из вскрышных пород, для биологической рекультивации выполнено определение токсичности пород [15, 35]. Для этой цели использовался полуколичественный рентгенофлуоресцентный метод (РФА), позволивший определить наличие в исследуемом материале тяжелых металлов. Исследованиями установлено: для всех анализируемых проб характерны единичные случаи обнаружения тяжелых металлов Zn, Pb, Ni, Mn, Ba, процентное содержание которых не превышает 0,2% от общей массы.

Обсуждение результатов

Открытая разработка угля в Кузбассе занимает одну из лидирующих позиций по агрессивному вмешательству в при-

родную сферу, создавая техногенный разрезно-отвальный ландшафт, занимающий до 80% нарушенных угледобычей земель. Проблема нарушенных земель в регионе также осложняется высокой плотностью размещения угледобывающих предприятий и их близостью к населенным территориям. Особое место среди нарушенных земель занимают внешние отвалы, площади которых увеличиваются ежегодно на 2000 га. Их частичное сокращение обеспечивается за счет увеличения емкости и высоты отвальных сооружений, а также размещения сухих отвалов на гидроотвалах, площадь которых в регионе достигла 7000 га [6, 10].

Основным видом отвальных сооружений в регионе являются внешние отвалы и гидроотвалы. Они характеризуются различными размерами в плане и по высоте, достигающими соответственно 1000 га и 160 м. Результирующие углы откосов при этом в зависимости от высоты изменяются от 12 до 26°. Высоты гидроотвалов изменяются от 4 до 76 м, площади — от 6 до 765 га, емкости — от 4 до 200 млн м³, результирующие углы откосов — от 8 до 150°. Наиболее значительным среди них является гидроотвал на р. Еловка, площадь, высота и емкость которого составляют соответственно 55 м, 765 га и 200 млн м³ [10].

Обоснование рекультивации отвалов следует выполнять на базе предложенного комплекса работ и исследований, направленных на получение информации для оценки и прогноза формирования новых техногенных ландшафтов, хорошо вписывающихся в естественный природный рельеф в местах размещения горнотехнических объектов. Предложена методология, предполагающая выполнение комплекса работ и исследований в рамках трех этапов: изучение инженерно-геологических и геоэкологических условий отвалов — обоснова-

ние их параметров — мониторинг состояния [6, 10].

Основными видами воздействия отвалов на окружающую природную среду являются изъятие земель для размещения вскрышных пород и формирование новых техногенных ландшафтов, характеризующихся определенным сочетанием рельефа, климата, почв, растительного и животного мира и т.п. Для условий высоких отвалов в регионе возможно формирование горного рельефа с абсолютными отметками выше +500 м. Как известно, рельеф существенно определяет климат, который обуславливает через процессы выветривания интенсивность образования на поверхности отвала слоя техногенного элювия, а в последующем и почвы — среды для произрастания различных видов растительности.

Заключение

В качестве основного способа рекультивации гидроотвалов предлагается отсыпка на их поверхности сухого отвала определенной высоты в зависимости от наличия на предприятии вскрышных скальных пород. Создание слоя достаточно прочных пород обеспечит выполнение работ по рекультивации гидроотвала. При неограниченных объемах вскрыши параметры отвалообразования выбираются как максимально возможные на основании выполненных расчетов устойчивости, а при их недостатке — минимальной высоты, обеспечивающей безопасные условия для работы горнотранспортного оборудования. При отсыпке первого яруса на слабое водонасыщенное основание происходит замещение-выдавливание намывных пород насыпными. Поэтому его формирование предопределяет разработку специальной технологии отвальных работ и обоснование порядка их развития. Наиболее предпочтительной

схемой развития отвала на гидроотвале является отсыпка насыпей в направлении от периферии к центру отвальными заходками в режиме управляемого деформирования откосов.

Отсутствие на угольных предприятиях достаточных объемов ПРС (почвенно-растительного слоя) для выполнения биологического этапа рекультивации предопределило постановку и решение проблемы изучения образования на поверхности отвала техногенных почв через стадию формирования техногенного элювия. Изучение данного процесса производилось для объектов различного времени образования, литологического состава и возраста вскрышных пород. Для каждого из объектов выполнено определение мощности образовавшегося техногенного элювия, его агрохимических свойств и плодородия. В ходе натурного исследования установлена мощность техногенного элювия 0,4 м через 15 лет после отсыпки отвала, при этом наблюдаются различные скорости преобразования у кольчугинских и балахонских отложений. Изучение агрохимических свойств техногенного элювия на отвалах показало, что его свойства вполне благоприятны для произрастания древесных и кустарниковых культур. Выполнено также определение основных показателей, характеризующих плодородие отвальных пород (наличие органики, общего азота, подвижного фосфора и калия). По диаграммам распределения концентраций в пробах установлен рост содержания питательных веществ с увеличением возраста отвала и мощности техногенного элювия. Выполненными исследованиями доказана пригодность техногенного элювия в качестве рекультиванта, поэтому на отвалах вскрышных пород угольных разрезов рекультивацию достаточно закончить горнотехническим этапом; биологический этап в данном контексте будет осуществляться в есте-

ственных условиях посредством развития первичных сукцессий на поверхности отвальных сооружений.

Вклад авторов

Кутепов Ю.И. — разработка рекомендации по выбору способа и технологии рекультивации на основе полученных результатов исследования в зависимости от свойств вскрышных пород, типа и параметров отвальных ПТС; обсуждение результатов исследования; написание текста статьи.

Кутепова Н.А. — анализ инженерно-геологических условий отвалообразования в зависимости развития процессов техногенеза вскрышных пород, определяющие устойчивость горнотех-

нических сооружений; обсуждение результатов исследования; написание текста статьи.

Мухина А.С. — анализ научно-технической литературы, горно-геологических условий объектов, изучение свойств вскрышных пород, теоретический анализ результатов экспериментальных исследований образцов, полученных в ходе натурального и лабораторного исследования техногенных отложений; систематизация материалов; написание текста статьи.

Мосейкин В.В. — анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований, обсуждение результатов исследования; написание текста статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таразанов И. Г. Губанов Д. А. Итоги работы угольной промышленности России за январь-июнь 2021 года // Уголь. — 2021. — № 9. — С. 25 — 36. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-9-25-36.

2. 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.

3. Гальперин А. М., Мосейкин В. В., Пуневский С. А., Семенова Е. А. Проблемы геомеханики и инженерной геологии в техногенных массивах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № S1. — С. 5 — 13. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-1-5-13.

4. Galperin M., Moseikin V. V., Kutepov Yu. I., Derevyankin V. V. Assessment of state of water-saturated mine waste for the justification of engineering structure designs at open pit mines // Eurasian Mining. 2017, no. 1, pp. 6–9. DOI: 10.17580/em.2017.01.02.

5. Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А., Карасев М. А., Фоменко Н. Г. Геомеханическое обоснование отсыпки отвалов «сухих» пород на гидроотвалах // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. — 2015. — № 3. — С. 220 — 225.

6. Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А., Васильева А. Д., Мухина А. С. Инженерно-геологические и экологические проблемы при эксплуатации и рекультивации высоких отвалов на разрезах Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 8. — С. 164–178. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_164.

7. Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А., Карасев М. А., Кутепов Ю. Ю. Прогноз формоизменения намывных массивов гидроотвалов при складировании на них отвальных насыпей // Горный журнал. — 2016. — № 12. — С. 23 — 27. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.05.

8. Бахаева С. П., Ананенко Е. В. Исследование условий формирования насыпей в лещаке боку залежи // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 9. — С. 55–64. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-55-64.

9. Бахаева С. П., Протасов С. И., Костюков Е. В., Федосеев А. И., Практика С. В. Исследование гидрогеомеханических процессов техногенных массивов // Вестник КузГТУ. — 2005. — № 3. — С. 41 — 43.

10. *Васильева А. Д.* Инженерно-геологическое обоснование устойчивости высоких отвалов угольных месторождений Кузбасса: Автореф. дис.... канд. техн. наук. — СПб.: СПбГУ, 2020. — 22 с.

11. *Ческидов В. В., Маневич А. И., Липина А. В.* Получение и анализ больших данных в практике мониторинга состояния горнотехнических сооружений // Горная промышленность. — 2019. — № 2(144). — С. 86–88. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-2-144-86-88.

12. *Cheskidov V. V., Grobler H., Kurenkov D. S., Lipina A. V.* Slope Monitoring Systems Design for Mining Enterprises. // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 174, article 01025. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401025.

13. *Cheskidov V. V., Lipina A. V., Manevich A. I., Kurenkov D. S.* Status monitoring of sloping structures / Topical Issues of Rational Use of Natural Resources — Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers. Saint-Petersburg, 2019, pp. 41–47. DOI: 10.1201/9780429398063.

14. *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.

15. *Богуславский А. Е., Андроханов В. А., Колмагорова Ю. О., Ужогова А. А., Госсен И. Н., Саева О. П.* Геохимический фон тяжелых металлов в почвах и растениях на участках отвалов угольных месторождений // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. — 2021. — № 2(61). — С. 40–50. DOI: 10.24412/2410-1192-2021-16104.

16. *Уфимцев В. И., Андроханов В. А., Куприянов О. А., Уфимцев Ф. Г.* Плодородный слой почвы как фактор восстановления зональных фитоценозов на отвалах угольной промышленности // Вестник КузГТУ. — 2019. — № 6(136). — С. 64–71. DOI: 10.26730/1999-4125-2019-6-64-71.

17. *Soloviev S., Semina I. S., Androkhonov V. A., Shipilova A. M.* Restoration of vegetation cover in reclaimed areas with coal preparation waste in Kuzbass // E3S Web of Conferences. 2021, vol. 244, article 01015. DOI: 10.1051/e3sconf/202124401015.

18. *Шипилова А. М., Семина И. С.* Оценка почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов Кузбасса в зависимости от 55 технологии рекультивации нарушенных земель // Известия УГГУ. — 2017. — № 3(47). — С. 53–56. DOI: 21440/2307-2091-2017-3-53-56.

19. *Кузнецова И. В., Жариков И. В.* Инженерно-геологическое обоснование переформирования намывного массива при частичном удалении гидроотвала // Записки Горного института. — 2011. — Т. 189. — С. 50–53.

20. *Протосеня А. Г., Кутепов Ю. Ю.* Прогноз устойчивости гидроотвалов на подрабатываемых подземными горными работами территориях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 3. — С. 97–112. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-97-112.

21. *Gridina E. B., Rudakov M. L., Rumiantseva A. M.* Evaluation of stability of sides of quarries and dumps on the basis of a risk-oriented approach // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2020, no. 4, pp. 47–52. DOI: 10.33271/nvngu/2020-4/047.

22. *Hansbo S.* Experience of consolidation process from test areas with and without vertical drains / Ground Improvement Case Histories. Embankments with Special Reference to Consolidation and Other Physical Methods. 2015, pp. 33–82. DOI: 10.1016/B978-0-08-100192-9.00002-8.

23. *Уфимцев В. И., Уфимцев Ф. Г.* Формирование лесонасаждений на отвалах угольных разрезов черной тайги г. Междуреченска // Вестник КузГТУ. — 2019. — № 1 (131). — С. 101–108. DOI: 10.26730/1999-4125-2019-1-101-108.

24. *Myaskov A., Kostyuk S., Marinova D.* Development of the characterizing indicators for the existing biodiversity and natural ecosystems and their role in habitat formation // E3S Web of Conferences. 2019, vol. 105, article 02009. DOI: 10.1051/e3sconf/201910502009.

25. Ческидов В. И., Бобыльский А. С. Технологическо-экологические аспекты отвалообразования вскрышных пород на разрезах Кузбасса // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2017. — № 5. — С. 96–104. DOI: 10.15372/FTPRPI20170511.
26. Фомин С. И., Фауль А. А. Способы снижения экологической нагрузки на горнодобывающие регионы // Записки Горного института. — 2013. — Т. 203. — С. 215.
27. Meier T., Wolffersdorff P., Tamaskovics N. Neuartiger Standsicherheitsnachweis für verflüssigungsgefährdete Kippen. Fachsektionstage der DGGTe. V. Würzburg. 2017, pp. 1–9.
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. Середин В. В., Хрулев А. С., Расстегаев А. В., Галкин В. И. Методика оценки напряженного состояния горных пород // Горный журнал. — 2020. — № 2. — С. 30–34. DOI: 10.17580/gzh.2020.02.03.
30. Черемихина А. П. Оценка закономерностей изменения инженерно-геологических условий устойчивости гидроотвалов вскрышных пород в зависимости от этапа эксплуатации: Автореф. дис. канд. техн. наук. — СПб.: СПбГУ, 2014. — 23 с.
31. Fel'dman E. P., Vasilenko T. A., Kalugina N. A. Physical kinetics of coal-methane system: Mass transfer, pre-outburst events // Journal of Mining Science. 2014, vol. 50, no. 3, pp. 448–464. DOI: 10.1134/S1062739114030077.
32. Пашкевич М. А., Петрова Т. А., Сверчков И. П. Свойства обводненных отходов обогащения угля и перспективы их рециклинга // Обогащение руд. — 2017. — № 1(367). — С. 46–50. DOI: 10.17580/or.2017.01.09.
33. Авгушевич И. В., Сидорук Е. И., Броневец Т. М. Стандартные методы испытания углей. Классификации углей. 2-е изд., перераб. и доп. — М., 2018. — 574 с.
34. Батугин А. С., Кобылкин А. С., Мусина В. Р. Исследование влияния геодинамической позиции углепородных отвалов на их эндогенную пожароопасность // Записки Горного института. — 2021. — Т. 250. — С. 526–533. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.5.
35. Фотина Н. В., Емельяненко В. П., Воробьева Е. Е., Бузова Н. В., Остапова Е. В. Современные биологические методы восстановления и очистки нарушенных угледобычей земель в условиях Кемеровской области — Кузбасса // Техника и технология пищевых производств. — 2021. — № 4. — С. 869–882. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-869-882. **МИАБ**

REFERENCES

1. Tarazanov I. G., Gubanov D. A. Russia's coal industry performance for January–June 2021. *Ugol'*. 2021, no. 9, pp. 25–36. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-9-25-36.
2. Mironenko I. A., Protasov S. I. Reduction of coal losses by combined open cast and underground mining of periferal reserves from the pit side. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2019, no. 1 (131), pp. 59–65. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2019-1-59-65.
3. Galperin A. M., Moseykin V. V., Pynevskiy S. A., Semenova E. A. Problems of geomechanics and engineering geology in man-made massives. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. S1, pp. 5–13. [In Russ]. DOI 10.25018/0236-1493-2018-1-1-5-13.
4. Galperin M., Moseikin V. V., Kutepov Yu. I., Derevyankin V. V. Assessment of state of water-saturated mine waste for the justification of engineering structure designs at open pit mines. *Eurasian Mining*. 2017, no. 1, pp. 6–9. DOI: 10.17580/em.2017.01.02.
5. Kutepov Yu. I., Kutepova N. A., Karasev M. A., Fomenko N. G. Geomechanical substantiation of «dry» waste rock accumulation within hydraulic sludge dumps. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya*. 2015, no. 3, pp. 220–225. [In Russ].
6. Kutepov Yu. I., Kutepova N. A., Vasileva A. D., Mukhina A. S. Engineering-geological and ecological concerns in operation and reclamation of high slope dumps at open-pit mines in

Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 8, pp. 164–178. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_164.

7. Kutepov Yu. I., Kutepova N. A., Karasev M. A. Kutepov Yu. Yu. Prediction of deformation of hydraulic-mine dumps overlaid with dump embankment. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 12, pp. 23–27. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.05.

8. Bakhaeva S. P., Ananenko E. V. Conditions of dry-placed filling in footwall. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 9, pp. 55–64. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-55-64.

9. Bahaeva S. P., Protasov S. I., Kostjukov E. V., Fedoseev A. I., Praktika S. V. Study of hydrogeomechanical processes of technogenic massives. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2005, no. 3, pp. 41–43. [In Russ].

10. Vasil'eva A. D. *Inzhenerno-geologicheskoe obosnovanie ustoychivosti vysokikh otvalov ugol'nykh mestorozhdeniy Kuzbassa* [Engineering-geological substantiation of the stability of high dumps of Kuzbass coal deposits], Candidate's thesis, Saint-Petersburg, SPbGU, 2020, 22 p.

11. Cheskidov V. V., Manevich A. I., Lipina A. V. Big data obtaining and analysis in the mining structures state monitoring practice. *Russian Mining Industry*. 2019, no. 2(144), pp. 86–88. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-2-144-86-88.

12. Cheskidov V. V., Grobler H., Kurenkov D. S., Lipina A. V. Slope Monitoring Systems Design for Mining Enterprises. *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 174, article 01025. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401025.

13. Cheskidov V. V., Lipina A. V., Manevich A. I., Kurenkov D. S. Status monitoring of sloping structures. *Topical Issues of Rational Use of Natural Resources – Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers*. Saint-Petersburg, 2019, pp. 41–47. DOI: 10.1201/9780429398063.

14. 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.

15. Boguslavskiy A. E., Androhanov V. A., Kolmagorova Ju. O., Uzhogova A. A., Gosen I. N., Saeva O. P. Geochemical background of heavy metals in soils and plants on the coal mine spoil sites. *Izvestiya Altayskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva*. 2021, no. 2(61), pp. 40–50. [In Russ]. DOI: 10.24412/2410-1192-2021-16104.

16. Ufimtsev V. I., Androkanov V. A., Kupriyanov O. A., Ufimtsev F. G. Fertile soil layer as a factor of recovery of zonal phytocenoses on coal industry dumps. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2019, no. 6(136), pp. 64–71. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2019-6-64-71.

17. Soloviev S., Semina I. S., Androkanov V. A., Shipilova A. M. Restoration of vegetation cover in reclaimed areas with coal preparation waste in Kuzbass. *E3S Web of Conferences*. 2021, vol. 244, article 01015. DOI: 10.1051/e3sconf/202124401015.

18. Shipilova A. M., Semina I. S. Assessment of the soil-ecological state of technogenic landscapes of the Kuznetsk basin (Kuzbass) depending on the technology of reclamation of disturbed lands. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2017, no. 3(47), pp. 53–56. [In Russ]. DOI: 21440/2307-2091-2017-3-53-56.

19. Kuznetsova I. V., Zharikov V. P. Engineering-geological substantiation of reshaping wave-built solid masses with partial removal of hydraulic mine dump. *Journal of Mining Institute*. 2011, vol. 189, pp. 50–53. [In Russ].

20. Protosnya A. G., Kutepov Yu. Yu. Stability estimation of hydraulic fills in undermined areas. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 3, pp. 97–112. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-97-112.

21. Gridina E. B., Rudakov M. L., Rumiantseva A. M. Evaluation of stability of sides of quarries and dumps on the basis of a risk-oriented approach. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020, no. 4, pp. 47–52. DOI: 10.33271/nvngu/2020-4/047.

22. Hansbo S. Experience of consolidation process from test areas with and without vertical drains. *Ground Improvement Case Histories. Embankments with Special Reference to Consolidation and Other Physical Methods*. 2015, pp. 33–82. DOI: 10.1016/B978-0-08-100192-9.00002-8.
23. Ufimtsev V. I., Ufimtsev F. G. Reforestation of taiga on dumps of coal mines of Mezhdurechensk town. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2019, no. 1 (131), pp. 101–108. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2019-1-101-108.
24. Myaskov A., Kostyuk S., Marinova D. Development of the characterizing indicators for the existing biodiversity and natural ecosystems and their role in habitat formation. *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 105, article 02009. DOI: 10.1051/e3sconf/201910502009.
25. Cheskidov V. I., Bobyl'skiy A. S. Technological and environmental aspects of overburden dumping in the Kuzbass open pits. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2017, no. 5, pp. 96–104. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRPI20170511.
26. Fomin S. I. Faul A. A. Ways to reduce the environmental burden on mining regions. *Journal of Mining Institute*. 2013, vol. 203, pp. 215. [In Russ].
27. Meier T., Wolffersdorff P., Tamaskovics N. *Neuartiger Standsicherheitsnachweis für verflüssigungsgefährdete Kippen*. Fachsektionstage der DGGTe. V. Würzburg. 2017, pp. 1–9.
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. Seredin V. V., Khrulev A. S., Rasstegaev A. V., Galkin V. I. Procedure of stress state assessment in rocks. *Gornyi Zhurnal*. 2020, no. 2, pp. 30–34. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2020.02.03.
30. Cheremikhina A. P. *Otsenka zakonomernostey izmeneniya inzhenerno-geologicheskikh usloviy ustoychivosti gidrootvalov vskryshnykh porod v zavisimosti ot etapa ekspluatatsii* [Evaluation of patterns of change in engineering-geological conditions for the stability of overburden hydraulic dumps depending on the stage of operation], Candidate's thesis, Saint-Petersburg, SPbGU, 2014, 23 p.
31. Fel'dman E. P., Vasilenko T. A., Kalugina N. A. Physical kinetics of coal-methane system: Mass transfer, pre-outburst events. *Journal of Mining Science*. 2014, vol. 50, no. 3, pp. 448–464. DOI: 10.1134/S1062739114030077.
32. Pashkevich M. A., Petrova T. A., Sverchkov I. P. Moist waste coal properties and recycling prospects. *Obogashchenie Rud*. 2017, no. 1(367), pp. 46–50. [In Russ]. DOI: 10.17580/or.2017.01.09.
33. Avgushevich I. V., Sidoruk E. I., Bronovets T. M. *Standartnye metody ispytaniya ugley. Klassifikatsii ugley*. 2-e izd. [Standard methods for testing coals. Classifications of coals, 2nd edition], Moscow, 2018, 574 p.
34. Batugin A. S., Kobylkin A. S., Musina V. R. Investigation of the influence of the geodynamic position of coal-bearing dumps on their endogenous fire hazard. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 250, pp. 526–533. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.5.
35. Fotina N. V., Emel'yanenko V. P., Vorob'eva E. E., Burova N. V., Ostapova E. V. Contemporary biological methods of mine reclamation in the Kemerovo Region – Kuzbass. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021, no. 4, pp. 869–882. [In Russ]. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-869-882.

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 Андреевна² — д-р техн. наук,
главный научный сотрудник, e-mail: koutepovy@mail.ru,

Мухина Александра Сергеевна¹ — аспирант,
e-mail: aleksandra_sergeevna94@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0707-8914,
Мосейкин Владимир Васильевич — д-р техн. наук,
профессор, ГИ НИТУ «МИСиС»,
e-mail: moseykin@inbox.ru,
ORCID ID: 0000-0002-2286-1480,

¹ Санкт-Петербургский горный университет.

Для контактов: Кутепов Ю.И., e-mail: koutepovy@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yu.I. Kutevov¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Head of Laboratory, e-mail: koutepovy@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3698-3072,

N.A. Kutevova¹, Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher,
e-mail: koutepovy@mail.ru,

A.S. Mukhina¹, Graduate Student,
e-mail: aleksandra_sergeevna94@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0707-8914,

V.V. Moseykin, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Mining Institute, National University
of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: moseykin@inbox.ru,

ORCID ID: 0000-0002-2286-1480,
¹ Saint-Petersburg Mining University,
199106, Saint-Petersburg, Russia.

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

Получена редакцией 16.03.2022; получена после рецензии 24.03.2022; принята к печати 10.04.2022.

Received by the editors 16.03.2022; received after the review 24.03.2022; accepted for printing 10.04.2022.



НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»



Бабанова И.С., Прохорова В.Б., Токарев И.С.
Управление электропотреблением предприятий нефтегазового комплекса с учетом диагностических оценок технического состояния потребителей-регуляторов

Год: 2022

Страниц: 372

ISBN: 978-5-98672-548-2

UDK: 621.311: 681.518.5

В монографии рассмотрены физические основы теории и практики электротехнических комплексов промышленных предприятий на примере нефтегазодобывающей отрасли. Проанализированы научно-технические проблемы повышения точности прогнозирования электропотребления. Выполнен анализ работы основных групп электропотребителей для повышения эффективности управления и обоснования режимов экономии электрической энергии предприятий. Разработаны методики по оценке технического состояния потребителей-регуляторов и обоснованию экономии электрической энергии и заявленной мощности. Рассмотрена научная сторона построения систем прогнозирования электропотребления с учетом интеллектуальных систем. Представлены алгоритмы по управлению режимами электропотребления предприятий в изменяющихся условиях эксплуатации.