

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕКУЛЬТИВАЦИИ ВЫСОКИХ ОТВАЛОВ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА

Ю.И. Кутепов¹, Н.А. Кутепова¹, А.Д. Васильева¹, А.С. Мухина¹

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

Аннотация: Выполнен краткий анализ отечественных исследований вопросов инженерно-геологического и экологического обеспечения безопасности эксплуатации и рекультивации внешних отвалов различного типа при разработке угольных месторождений открытым способом на примере Кузнецкого угольного бассейна. Приведены литологическая и инженерно-геологическая характеристика вскрышных пород на разрезах Кузбасса и формируемых для их размещения отвальных горнотехнических сооружений – отвалов и гидроотвалов; рассматриваются характерные особенности инженерно-геологических условий отвалообразования в регионе в части изучения основных параметров прочности техногенных насыпных и намывных, а также естественных пород при вертикальных нагрузках, адекватных высоким и сверхвысоким отвальным сооружениям; дана оценка влияния объектов размещения вскрыши различного типа на геоэкологические условия территорий, прилегающих к разрезам, определены классы опасности грунтов, поступающих в отвальные массивы. Определена степень пригодности макро- и микроэлементного состава техногенных пород отвалов и гидроотвалов для будущей биологической рекультивации, оценено влияние гранулометрического и микроагрегатного состояния техногенных сооружений на формирование почвенного плодородного слоя при биологической рекультивации. Доказана рациональность использования вскрышных отходов горнодобывающих предприятий для восстановления техногенно нарушенных земель в регионе.

Ключевые слова: отвал, гидроотвал, техногенные породы, инженерно-геологические условия, прочностные свойства, геоэкологические условия, техногенный ландшафт, рекультивация.

Для цитирования: 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.

Engineering-geological and ecological concerns in operation and reclamation of high slope dumps at open-pit mines in Kuzbass

Yu.I. Kutepov¹, N.A. Kuteпова¹, A.D. Vasileva¹, A.S. Mukhina¹

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

Abstract: A brief review of the domestic researches into the engineering-geological and ecological safety of operation and reclamation of different-type external dumps at open-pit coal mines in the Kuznets Coal Basin (Kuzbass) is implemented. The lithological and engineering-geological characteristics of overburden rocks at open-pit mines and at dumps and hydraulic fills in Kuzbass are described; the regional features of engineering-geological conditions of dumping are discussed, namely, strength characteristics of manmade dumps and hydraulic fills, as well as natural rocks under vertical loads equivalent to loading applied by high and super high dumped structures. The influence of various-type overburden dumps on geocology in the adjacent areas of surface mining is assessed, and the hazard classes of overburden rocks in the dumps are determined. Suitability of macro- and microelement composition of overburden rocks in dumps and hydraulic fills for the future biological reclamation is determined, and the influence of grain-size composition and microaggregative state of the dumps and fills on the formation of fertile soil layer in biological reclamation is estimated. The efficiency of overburden waste rocks in recovery of manmade-disturbed lands in Kuzbass is proved.

Key words: dump, hydraulic fill, manmade rocks, engineering-geological conditions, strength properties, geocology, manmade landscape, reclamation.

For citation: 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;(8):164-178. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_164.

Введение

Кузнецкий угольный бассейн является одним из самых крупных в мире месторождений высококачественных углей, представленных практически всеми существующими разновидностями. Несмотря на декларируемую мировую тенденцию о декарбонизации экономик развитых стран и переход к использованию альтернативных источников энергии, объемы добычи угля в Кузбассе продолжают неуклонно увеличиваться. Это связано с сохранением в энергетических балансах большинства регионов доминирующей роли твердого топлива. В частности, в Кузбассе, относящемся административно к Кемеровской области, подавляющее большинство всего объема топливных ресурсов и около 3/4 энергетических ресурсов региона. На функционирующие здесь угольные предприятия приходится около 60% от общего объема угледобычи России. Всего же в регионе по данным за 2020 г. до-

быто 201,5 млн т каменного угля, из них около 70% открытым способом [1].

Открытая угледобыча, несмотря на высокую технико-экономическую эффективность, оказывает существенное влияние на окружающую природную среду в связи с выполнением вскрышных и добычных горных работ. При этом под отвальные сооружения обычно требуются значительные площади земли [2], расположенные в непосредственной близости от горных выработок [3]. Дефицит таковых на фоне ужесточения требований российского законодательства в области охраны окружающей среды и рационального использования земельных ресурсов ведет к необходимости разработки мероприятий по обоснованию максимальных параметров отвальных сооружений, т.е. созданию высоких природно-технических систем, потенциально опасных по возникновению масштабных аварий и аварийных ситуаций, связанных с развитием ополз-

невых процессов и явлений. В последние годы на внешних отвалах разрезов Кузбасса участились подобные случаи, что связано с увеличением высот техногенных массивов и возрастанием интенсивности их формирования.

Наличие больших по площади и высоте отвальных горнотехнических сооружений также неблагоприятно сказывается на экологическом состоянии близлежащих к данным объектам территорий из-за: горения угля в отвалах, их пыления, изменения гидрологических и гидрогеологических условий и развития связанных с ними гидрогеомеханических процессов и явлений. Большие размеры отвалов и отсутствие материала для выполнения работ по рекультивации их поверхности определяют постановку задач по поиску потенциально плодородных пород в пределах разрабатываемого месторождения. Наличие угля в техногенных массивах дает надежду на благополучное разрешение данной проблемы через использование техногенного элювия, формирующегося на поверхности отвала. Уголь в этом случае, окисляясь, постепенно, с течением времени дает необходимое для растений плодородие.

Анализ изученности проблемы

Вопросы геомеханического обоснования оптимальных параметров отвалов угольной промышленности считаются достаточно хорошо проработанными в научно-технической литературе [4–6] как с позиции обоснования методов расчета устойчивости откосов горнотехнических сооружений [1, 7], так и с позиции изучения инженерно-геологических и гидрогеологических условий их формирования [8–10]. Несмотря на это, продолжает существовать определенный дефицит знаний, касающихся оценки и прогноза изменения состояния и свойств пород при формировании высоких отва-

лов, когда в техногенных массивах и их основаниях реализуются напряжения более 2 МПа. Это обстоятельство связано, в первую очередь, с отсутствием опыта формирования таких сооружений в угольной отрасли, а также стандартных лабораторных приборов, обеспечивающих испытание образцов при соответствующем напряженном состоянии с учетом так называемого «масштабного эффекта». Первая проблема в 20-м столетии успешно была решена на крупных разрезах Кузбасса, где начали эксплуатироваться сооружения высотой более 100 м. Реализация второй — получение достоверных сведений о прочностных и деформационных свойствах пород высоких отвалов — требует выполнения специальных научно-исследовательских работ по их определению в условиях, соответствующих натурным, применительно к определенным угольным бассейнам и конкретным месторождениям [8, 10].

Если геомеханические аспекты обоснования параметров высоких отвалов в последние годы начали рассматриваться в научно-технической литературе, то экологические вопросы влияния таких сооружений на окружающую среду являются слабо проработанными. Следует отметить немногочисленные исследования по образованию техногенного элювия [9, 11] на поверхности отвальных массивов и оценке его плодородия [12, 13]. Данный аспект, естественно, является архиважным для обоснования рекомендаций по рекультивации горнотехнических сооружений. Также вне рамок серьезного рассмотрения оказались другие экологические вопросы, в частности, оценка и прогноз влияния формирования и функционирования высоких отвалов на состояние природной окружающей среды. О необходимости и актуальности таких исследований свидетельствуют: существенные изменения

отметок рельефа местности; частые случаи нарушения земель, окружающих отвальные объекты при развитии оползневых явлений; эндогенные процессы горения угля в отвалах [14]; изменение климатических и гидрологических условий территории, гидрогеологического режима подземных вод и пр. Все перечисленное говорит о неустойчивости экосистемы на территориях размещения отвальных горнотехнических сооружений, а также негативном воздействии последних на компоненты окружающей среды.

Материалы и методы

В основе проводимых авторами исследований заложен комплексный подход, включающий анализ и обобщение результатов ранее выполненных исследований авторов [4–6] и других специалистов в данной области [3, 7, 8], натурные и лабораторные методы определения состава, состояния и свойств отвальных пород, геометрических, геологических и инженерно-геологических параметров эксплуатируемых техногенных массивов Кузбасса, методы аналитической обработки полученных результатов, а также численное моделирование на основе лицензионных программных продуктов [1, 10, 11]. Целью исследования техногенных пород *in situ* было массовое опробование массивов отвалов и их оснований, в первую очередь — для оценки характера неоднородности и трансформации слагающих их пород. Лабораторные методы были направлены на установление закономерностей изменения состояния и свойств пород под нагрузками, возрастающими

Таблица 1

Средний состав вскрышных пород угольных разрезов Кузбасса
Average composition of overburden rocks at open-pit coal mines in Kuzbass

Наименование	Песчаник	Алевролит	Аргиллит	Суглинок	Уголь
Количество, %	31–80	14–57	до 17	до 22	2–6

при увеличении высоты сооружения и при выполнении рекультивационных работ. В результате проведенных исследований была разработана и уточнена инженерно-геологическая модель объектов размещения вскрышных пород в регионе, которая позволяет проводить оценку параметров отвалов, состояния их устойчивости с учетом различных природных и технологических факторов. Совокупность полученных различных знаний об объекте, а также результаты изучения пригодности техногенного элювия для биологической рекультивации, обеспечат разработку рекомендаций по возврату территорий отвалов в сферу сельского и лесного хозяйства.

Характеристика отвальных работ

Открытая угледобыча в Кузбассе ведется на месторождениях, отрабатывающих преимущественно отложения балахонской ($C_{2-3} - P_1$) и кольчугинской серий (P_2), представленных переслаиванием пластов углей, песчаников, алевролитов и аргиллитов различной мощности (табл. 1). В зависимости от возраста углевмещающие породы различаются по степени литификации, составу межчастичного цемента, прочности пород. Угленосная толща на территории бассейна практически повсеместно перекрыта покровом пород неоген-четвертичного возраста (N-Q). По составу покровные отложения на большинстве разрезов отрабатываемых угольных месторождений представлены суглинками, реже глинами и супесями. Таким образом, на открытых горных работах при

угледобыче в регионе в отвальные сооружения попадают в различном соотношении углевмещающие и покровные разновидности, формируя новые их образования — техногенные породы сухих отвалов. Процесс их образования и дальнейшего изменения во времени под воздействием природных и технических факторов называется техногенезом.

Формирование строения, состава, состояния и свойств отвальных пород определяется как исходным литологическим и гранулометрическим составом поступающего в отвалы вскрышного материала, так и производственными горнодобывающими процессами, а именно: бурением и взрыванием, экскавацией и транспортировкой до отвала, а также размещением в тело отвала. После попадания в массивы отвала вскрышной материал претерпевает существенные изменения под воздействием природных процессов гравитационного разрушения-уплотнения при наращивании сооружения по высоте, химического и физического выветривания при воздействии климатических и гидрогеологических факторов, а также при трансформации напряженного состояния за счет формирования в теле отвала водонесного горизонта. Исходный состав пород в отвалах при этом представляет собой смесь из обломочного дезинтегрированного материала углевмещающих пород различного возраста, литологического состава, типа межчастичного цемента, а также прочности.

Внешние отвалы в регионе начали активно формироваться с 1948 г. прошлого столетия по автомобильной, железнодорожной, бестранспортной и гидравлической технологиям. Соотношение применяемого для данных целей транспорта за весь рассматриваемый период изменялось в зависимости от общей тенденции его развития. Так, в 2020 г. в отвалы вывезено около 1,5 млрд м³ вскрыши, из

которой 97,3% пришлось на автосоамосвалы. Значительный период в истории развития открытых горных работ связан с использованием для удаления вскрыши гидромеханизации. В частности, на разрезах Кузбасса с ее помощью было удалено более 1 млрд м³ пород неоген-четвертичного возраста. В настоящее время объемы гидровскрыши сократились, и не превышают 1,5% от общего объема. Это связано как с отсутствием площадей для строительства новых гидроотвалов, так и с отсутствием материала, пригодного для отработки с применением гидравлических технологий, особенно на «старых» разрезах.

На разрезах существуют два типа внешних отвальных сооружений — сухие отвалы и гидроотвалы. Первые — наиболее распространенные в технологических процессах горного производства — характеризуются площадями от первых десятков до нескольких сотен гектаров, высотами от 15 до 160 м при углах откосов от 40° до 12°. Последними проектами горных работ предусматривается формирование трехсот- и даже пятисотметровых отвальных объектов на площадях более 1000 га. Емкость таких сооружений будет превышать 2500 млрд м³. Гидроотвалы, общее количество которых в регионе достигает 60 объектов, характеризуются площадями от 16 до 765 га, высотами от 4 до 76 м и емкостями от 4 до 200 млн м³. Большая их часть в настоящее время не эксплуатируется, а используется для размещения отвалов сухой вскрыши, при этом происходит формирование сложнейших природно-технических систем (ПТС) «отвал + гидроотвал».

Особенности инженерно-геологических условий отвалов

Одними из важнейших задач безопасного и технико-экономически эффективного отвалообразования на раз-

Таблица 2

Прочностные параметры отвальных пород балахонской и кольчугинской серий в различных диапазонах вертикальных напряжений

Strength parameters of Balakhon and Kolchugino series overburden rocks within different ranges of vertical stresses

№ п/п	Нагрузки, МПа Наименование пород и их возраст	< 0,1		0,1—1,0		1,0—2,5	
		С, кПа	φ, град.	С, кПа	φ, град.	С, кПа	φ, град.
1	Песчаники (C ₂₋₃ – P ₁)	10	34	11	32	13	28
2	Алевролиты (C ₂₋₃ – P ₁)	14	32	16	29	17	27
3	Смеси 1 и 2 (C ₂₋₃ – P ₁)	14	33	16,5	31	17	28
4	Песчаники (P ₂)	11	34	11	28	13	25
5	Алевролиты (P ₂)	14	32	16	29	17	26
6	Смеси 4 и 5 (P ₂)	15	33	15	29	18	25
7	Суглинки нарушенного сложения*	30	16	40	11	47	9
8	Смеси 1 и 2 (50%) с суглинками (50%)	24	25	27	21	28	13
9	Смеси 4 и 5 (50%) с суглинками (50%)	22	25	27	21	28	16

* Свойства суглинков нарушенного сложения зависят от их влажности.

резаз является обеспечение устойчивости откосов отвалов и обоснование их оптимальных параметров. Инженерно-геологические аспекты их решения в условиях постоянного увеличения высот горнотехнических сооружений предполагают выполнение исследований для выявления закономерностей изменения состояния и свойств техногенных пород отвалов и гидроотвалов, а также их оснований. Для обоснования возможности создания высоких и сверхвысоких отвальных объектов весьма важно производить определение изменений прочностных свойств техногенных пород отдельных литологических разностей и их смесей в различных соотношениях при нормальных нагрузках, адекватных проектируемым напряжениям в массиве.

Исследования прочности отвальных пород Кузбасса производились нами на одноплоскостных приборах с площадью среза от 40 до 500 см² при нормальных нагрузках до 2,5 МПа. Сдвиговые опыты позволили получить значения углов внутреннего трения и сцепления

техногенных пород, состоящих из одних литологических разностей вскрышной толщи и их смесей в различном соотношении (табл. 2). Анализируя полученные результаты, следует отметить, что наиболее изменяющимся параметром прочности дисперсных пород с ростом нагрузки уплотнения является угол внутреннего трения, который в большей степени и определяет устойчивость высоких и сверхвысоких отвалов. При этом установлено, что наибольшими углами (34°) обладают отвальные породы из обломочного материала балахонских и кольчугинских песчаников, испытанных при нагрузках до 0,1 МПа. Увеличение нормальных нагрузок уплотнения до 2,5 МПа сопровождается уменьшением углов внутреннего трения соответственно на 6° и 9°. Такие изменения обусловлены разрушением обломков испытываемого материала при преодолении предела прочности на сжатие, приводящем к изменению гранулометрического состава испытываемого материала в сторону увеличения его дисперсности.

Следует при этом также отметить, что песчаники обеих серий более подвержены процессам дезинтеграции под воздействием вертикальных давлений, чем алевролиты, о чем свидетельствуют результаты изучения состава материала [10]. Сдвиговые опыты также позволили установить закономерности изменения параметров прочности отвальных пород из смесей углевмещающих и покровных отложений. Опытами получено, что при содержании суглинистого материала менее 30% показатели свойств смеси скальных и глинистых пород близки по значениям к параметрам прочности чистой обломочной массы. С ростом процентного содержания глинистого материала наблюдается рост сцепления и снижение угла внутреннего трения, а при достижении 70% показатели смеси становятся близки по значениям к свойствам суглинков нарушенного сложения.

Устойчивость откосов отвалов зависит также от прочности пород в основании горнотехнических сооружений, особенно при наличии слабых пород. В Кузбассе отсыпка отвалов осуществляется на естественные покровные и техногенные намывные образования. Мощность первых в регионе различная и изменяется от нескольких метров в южной, горной его части, до 80 м и более — в центре бассейна. Неоген-четвертичная толща представлена переслаиванием пород различной мощности, генезиса (эолового, делювиально-пролювиального и аллювиального), состояния (от текучих до твердых) и свойств. При их нагружении наблюдается разрушение сформировавшегося минерального скелета с потерей структурной составляющей сцепления, после чего они начинают уплотняться, уменьшая пористость в соответствии с приложенной нормальной нагрузкой.

При полном водонасыщении пород основания отвалов в них образуется

избыточное поровое давление, режим рассеивания которого зависит от фильтрационно-компрессионных свойств, граничных и дренажных условий. В реальных условиях формирования различных горнотехнических сооружений отмечен эффект консолидации как намывных, так и естественных водонасыщенных глинистых отложений, первоначально находившихся в консистенциях от текучей до тугопластичной, сопровождающийся образованием и рассеиванием в поровой воде избыточного гидро-статического давления. Выполненные исследования уплотнения глинистых отложений под нагрузками, соответствующими давлению высоких отвалов (более 100 м), позволили установить, что при нагружении они, имея первоначально различную консистенцию (от текучей до тугопластичной), при нормальных нагрузках 1,2–1,5 МПа уплотняются до твердого состояния, проходя стадии трансформации физического состояния. Данным нагрузкам соответствуют угол внутреннего трения $\varphi = 12^\circ$ и сцепление $C = 70$ кПа практически для всех изученных разновидностей пород. Дальнейшее нагружение глинистых пород не приводит в обозримом будущем к изменению их прочностных параметров в связи с наличием резерва уплотнения, препятствующего развитию дальнейшей консолидации. Образование и рассеивание избыточного порового давления P_u в водонасыщенных глинистых породах при их нагружении является гидродинамической особенностью отвалообразования на слабом основании. Высокая интенсивность наращивания сооружения приводит к накоплению P_u в отложениях основания отвала до критических величин, при которых может происходить нарушение устойчивости откосов.

Наращивание высот отвальных сооружений приводит также к уменьше-

нию пористости и проницаемости слагающих их насыпных пород и, при наличии достаточного инфильтрационного питания, к формированию в техногенных массивах водоносных горизонтов. При разгрузке фильтрационного потока в сторону откоса в нем появляются гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление, снижающие устойчивость откосов. В некоторых случаях фильтрационный поток выходит на откос, образуя промежуток высачивания, наблюдается потеря прочности пород вследствие их переувлажнения, сопровождающаяся оползанием или оплыванием водонасыщенных масс за пределы земельного отвода.

Следует отметить, что при любом нарушении устойчивости, в том числе при развитии гидрогеомеханических процессов в техногенном массиве, рентабельность проведения рекультивации поверхности отвала после завершения его функционирования имеет предельно низкие значения и может быть практически сведена к нулевому значению.

Влияние отвалов на геоэкологические условия территорий

Технологические процессы отвалообразования, наряду с добычными и вскрышными горными работами, являются определяющими при формировании нового антропогенного ландшафта, представленного при открытой разработке угля разрезоотвальными комплексами. Общеизвестно, что при промышленной добыче каменного угля формируется промышленный ландшафт присваивающего типа в связи с комплексным изменением компонентов биогенного слоя и рельефа территории. Техногенно нарушенная область при этом местами покрыта сорно-рудеральной растительностью, а на некоторых участках она полностью отсутствует

[15, 16]. Кроме неблагоприятного внешнего облика, на данных территориях проявляется ряд негативных экологических факторов, преимущественно обусловленных развитием эрозионных процессов, значительной трансформацией гидрологических условий и экологогигиенического состояния поверхностных водных объектов, загрязнением, особенно на отвалах угольной промышленности, приземного слоя атмосферы в результате процессов пыления и горения и др.

Территории размещения высоких отвалов вскрышных пород Кузбасского экологического района являются крупными неорганизованными площадными источниками загрязнения. В зоне их влияния находятся участки, сохранившие естественный рельеф местности, антропогенное воздействие на которые проявляется в виде осаждения техногенных выбросов из атмосферы, загрязнения почвы нефтепродуктами при движении транспортных средств по существующим автомобильным дорогам. Основные объемы выпадения взвешенных веществ связаны с процессами ветровой эрозии на поверхности отвального массива. Кроме того, на данных территориях отмечается превышение приземных концентраций CO_2 по причине наличия эндогенных пожаров в теле отвала.

Существенному антропогенному влиянию подвергаются также поверхности водосборных бассейнов водотоков в зонах влияний отвалов за счет разрушения связей между поверхностными и подземными водами, при этом многочисленные источники и небольшие реки могут исчезнуть. Изменения характеристик водных объектов могут происходить на количественном уровне. Например, до начала разработки угля на Ерунаковском поле протекающая здесь р. Большая Коровиха представляла со-

бой водоток длиной 3,6 км с площадью водосбора 5,3 км². После намыва в верховьях лога гидроотвала на 1,7 км сократилась ее протяженность и площадь водосбора данного водотока.

Естественное состояние поверхностного водотока может нарушиться по причине его зарегулирования вследствие деформационных процессов откосов отвала или его основания. Так, при развитии оползня на отвале разреза «Запечный» наблюдалось перекрытие водотока и подъем уровня воды в нем.

Другой механизм нарушения территорий, примыкающих к отвалу, наблюдается при изменении гидродинамического режима подземных вод в теле и основании сооружения в виде продолжительного привнесения и перераспределения вещества и энергии движущимся потоком воды.

Иногда рядом с отвалами образуются деформации в виде фильтрационного оплывания откосов, бугров выпирания и выходов источников воды. Данное воздействие имеет интенсивность развития от слабой до сильной, по своему масштабу является локальным, а по генезису — смешанным.

Оценка пригодности пород вскрыши для биологической рекультивации

В соответствии с законами РФ изъятие земель под строительство, в том числе отвальных сооружений, предполагает необходимость предварительного съема почвенно-растительного слоя с размещением его на специальных площадках и складах для последующего использования при рекультивации. Однако значительная часть разрезов бассейна была введена в эксплуатацию более полувека назад (Краснобродский — 1947 г., Бачатский — 1949 г., Кедровский — 1954 г. и т.д.), что исключает наличие и сохранность данного материала в на-

стоящее и будущее время. Учитывая значительные площади поверхности образовавшихся техногенных массивов и отсутствие резервов почво-растительного материала, на современном этапе особую актуальность приобретает оценка агрохимических свойств и плодородия отвальных пород, размещаемых в верхних частях сформированного техногенного массива.

Вскрышные породы угольных разрезов относятся к отходам V класса опасности. Они включают в свой состав достаточное количество угля и гумуса (органического вещества) и практически не содержат токсичных загрязняющих веществ, что делает их потенциально пригодными для биологической рекультивации (табл. 3).

Исходный гранулометрический состав отвальных пород оказывает значительное влияние на интенсивность деструкции и синтеза почвообразующих веществ, их аккумуляции в техногенных ландшафтах, определяя физико-механические и водные свойства формируемых почв. Появляющийся на поверхности устойчивый растительный покров способствует задержанию частиц отвального материала от выноса водой и ветром [17]. Изменение начального гранулометрического состава отвальных пород происходит под воздействием геомеханических, биофизико-химических, а также эрозионных процессов. При этом отвальные породы с разной скоростью, в зависимости от их исходной прочности, преобразуются в техногенный элювий. Изучение агрохимических свойств техногенного элювия на отвалах Кузбасса показало, что его свойства вполне благоприятны для произрастания древесных и кустарниковых культур [12, 13].

Образовавшийся на поверхности субстрат характеризуются обычно щелочной и сильнощелочной реакцией среды

Таблица 3

**Содержание тяжелых металлов в техногенных почвах и грунтах
(отвалы Восточный и Южный, Талдинский разрез)
Content of heavy metals in manmade soil and rocks
(Vostochny and Yuzhny dumps, Talda open-pit mine)**

Пункт отбора пробы	pH _{сол}	Гранулометрический состав	Элементы по классам опасности (ГОСТ 17.4.1.02-83, СП 11-102-97)						
			1 КО					2 КО	
			Zn	Pb	Cd	Hg	As	Ni	Cu
П3	7,6	суглинки средние пылеватые	0,19	0,09	0,12	0,03	0,66	0,19	0,12
П5	7,3	суглинки тяжелые пылеватые	0,24	0,11	0,22	0,04	0,96	0,25	0,13
П9	7,1	суглинки тяжелые пылеватые	0,41	0,16	0,43	0,01	0,75	0,18	0,19
П10	7,0	суглинки средние пылеватые	0,24	0,17	0,21	0,01	0,72	0,25	0,26
П16	7,3	суглинки тяжелые пылеватые	0,33	0,15	0,36	0,01	0,41	0,41	0,25
П18	6,8	глины легкие	0,18	0,24	0,24	0,01	0,41	0,15	0,16
П25	7,71	суглинки легкие песчанистые	0,23	0,13	<0,10	<0,10	0,24	0,96	0,09
П26	7,76	суглинки средние пылеватые	0,38	0,12	<0,10	<0,10	0,97	0,38	0,14
П31	8,98	суглинки средние пылеватые	0,23	0,07	<0,10	<0,10	0,24	0,21	0,08

* Данные представлены в пересчете на Ко — коэффициент контрастности относительно ПДК/ОДК.
** Горизонт отбора проб 0–30 см.

грунтового раствора (величина pH_{вод} изменяется от 6,78 ед. до 8,98 ед.). Количество органического вещества в исследованных на агрохимические показатели техногенных породах варьирует от 1,10% до 6,10%. Такое повышенное его содержание связано с обогащением грунтовой толщи углесодержащими породными сростками и угольной пылью. Обеспеченность техногенного элювия подвижным фосфором и нитратным азотом варьирует от очень низкой до очень высокой концентрации. Так, содержание фосфора валового варьирует от 0,160 до 0,741%, а общего азота — от 0,04 до значений выше 0,3%.

Однако наличие в породах угля и влаги; оптимальный температурный режим поверхности отвала вследствие процессов окисления углей; значительная карбонатность пород и, соответственно, повышенная их щелочность вносят некоторые коррективы в выбор культур для рекультивации, в частности, в пользу растений, требовательных к повышенному уровню элементов зольного питания в субстрате (береза, липа, клен и др.) [12, 13].

Согласно результатам сопоставления по агрохимическим свойствам полученных для техногенных грунтов отвалов Кузбасса данных с нормативными

величинами, установленными ГОСТ 17.5.1.03-86, по их пригодности для рекультивации (согласно), выветрелые в результате естественных факторов до супесчано-суглинистого состояния отвалы породы по ряду факторов, включающих химический и гранулометрический состав, соответствуют потенциально плодородному слою, могут быть рекомендованы для использования при биологической рекультивации нарушенных земель. Проведение рекультивационных мероприятий позволит ликвидировать источники техногенного воздействия, земли будут выполнять средозащитную функцию. Таким образом, рекультивация может рассматриваться как часть нейтрализации последствий.

Подтверждением данного тезиса может послужить зарубежный опыт рекультивации отвалов на угледобывающих предприятиях. Одна из наиболее результативных стран в этой сфере — Германия, где применяются высокие стандарты и высокоэффективная система госконтроля. Рекультивация здесь основывается на ландшафтно-экологическом анализе с разработкой перспективных планов дальнейшего развития. Первостепенное значение придается лесо-, сельскохозяйственному и рекреационному направлению рекультивации.

В качестве наиболее яркого примера можно выделить карьер Nochten (Германия), осуществляющий добычу бурого угля. Основная масса вскрышных пород поступает во внутренние отвалы в направлении, противоположном фронту работ, и в небольших количествах используются в дорожном строительстве. Рекультивация осуществляется параллельно с добычными работами. После выравнивания поверхности отвала и выполаживания откосов нерабочих уступов сверху укладывается плодородный почвенно-растительный слой. За-

тем выполняется высадка деревьев, кустарников и другой растительности, при этом сооружаются удерживающие конструкции из деревьев, ранее удаленных с поверхности карьера. Общая площадь рекультивированных земель составляет более 3 тыс. га и является зоной культурного отдыха, где представлены различные виды флоры и фауны.

Обсуждения

Рассмотрен процесс техногенеза пород отвалов под воздействием определяющих факторов природного и техногенного характера. Экспериментальные исследования параметров сопротивления сдвигу формируемых в отвалах техногенных отложений, а также отложений естественных и намывных оснований сооружений, позволили получить закономерности их изменения с ростом нагрузок уплотнения. Создание отвалов большой высоты при отсыпке их на слабое основание будет сопровождаться развитием гидрогеомеханических процессов в техногенных и естественных массивах, таких как развитие избыточного порового давления в нагружаемых водонасыщенных породах и формирование безнапорного водоносного горизонта в теле отвала. Установленные тенденции уменьшения свойств и напряженного состояния пород за счет образования гидродинамических сил существенно ухудшают условия устойчивости высоких отвалов и требуют особого внимания при обосновании оптимальных параметров. Предотвращение развития негативных геодинамических процессов на откосах отвалов существенно повышает безопасность и технико-экономическую эффективность отвалных работ.

Согласно геоэкологической оценке к основным видам потенциальных неблагоприятных воздействий на окружающую природную среду при формировании высоких отвалов открытой

добычи угля относится изменение ландшафтов территорий за счет образования и размещения отходов горного производства — вскрышных пород, при этом происходят: механические повреждения и ликвидация почв и растительности; изменения рельефа местности; нарушения русел водотоков и их загрязнение; утрата части территории, являющейся местом обитания растений и животных; выбросы загрязняющих веществ в атмосферу вследствие эндогенных процессов горения угля, эрозии поверхности отвальных сооружений, а также работы горной техники; нарушения русел водотоков и их загрязнение; загрязнение поверхностных водных объектов в результате аэрогенного поступления загрязняющих веществ, присутствующих в складированном материале и др.

Рассматривая процесс восстановления нарушенных земель с инженерно-геологической, геоэкологической и экономической точки зрения, принято считать, что формирование техногенных массивов и их рекультивация являются самостоятельными технологическими процессами. Рекультивация начинается, как правило, после прекращения эксплуатации горно-технических сооружений. Однако при детальном изучении технологии ведения высотного складирования вскрышных пород установлена возможность совмещения рекультивации и отсыпки отвалов. Причем исследования вскрышных пород угольных разрезов Кузбасса показали возможность их использования как на техническом этапе рекультивации (как строительный материал), так и на биологическом этапе (в качестве плодородного субстрата).

Формирование отвальной насыпи на поверхности гидроотвала и ведение рекультивации позволит: разместить значительные объемы вскрыши, сократив тем самым площади земельного отвода; выполнить рекультивацию поверх-

ности гидроотвала; снизить затраты на размещение отходов V класса опасности за счет вовлечения вскрышных и вмещающих пород в оборот; сократить расстояние транспортировки вскрыши до породного отвала; уменьшить затраты на компенсацию экологического ущерба от предотвращения аварийных ситуаций.

Заключение

Наметившаяся в последние годы тенденция создания высоких и сверхвысоких отвалов предопределила постановку ряда инженерно-геологических и экологических вопросов, решение которых позволит обеспечить безопасность и технико-экономическую эффективность процессов отвалообразования, снизить экологический ущерб от размещения на земной поверхности отходов — вскрышных пород — и вернуть задействованные для этих целей территории посредством рекультивации в сферу сельскохозяйственного и лесного производства. Успешность проведения рекультивационных работ существенно зависит от параметров отвальных сооружений, определяемых инженерно-геологическими условиями.

Выполненные исследования в рамках поставленных задач были направлены на определение показателей прочностных и фильтрационных свойств техногенных и естественных отложений, а также на установление закономерностей их изменений в зависимости от увеличения нагрузки. Кроме того, проводилась оценка напряженного состояния техногенных массивов и нагружаемых пород оснований. Данная инженерно-геологическая информация легла в основу расчетов устойчивости откосов и обоснования оптимальных параметров сооружений.

Рекультивация высоких отвалов полного цикла (включая горнотехнический,

мелиоративный и биологический этапы) в существующих условиях Кузбасса является весьма затратной из-за большой их площади и отсутствия материала, пригодного для этих целей. Данное обстоятельство делает перспективным на-

учные исследования, направленные на изучение процессов восстановления нарушенных земель за счет вовлечения отходов производства, а также естественных процессов восстановления биотических компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А., Васильева А. Д. Обоснование устойчивости внешних отвалов Кузбасса и мониторинг их состояния // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 4. — С. 109–120. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-109-120.
2. Селюков А. В. Инструмент корректировки распределения объемов вскрыши по отвалам действующего угольного разреза // Записки Горного Института. — 2016. — № 219. — С. 387–391. DOI: 10.18454/pmi.2016.3.387.
3. Pospelov G. B., Pankratova K. V., Straupnik I. A., Ustiugov D. L. Problems of land reclamation during liquidation of coalmining enterprises // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017, vol. 87, no. 4, pp. 1–5. DOI: 10.1088/1755-1315/87/4/042015.
4. Cheskidov V., Kassymkanova K.-K., Lipina A., Bornman M. Modern methods of monitoring and predicting the state of slope structures // E3S Web of Conferences. 2019, vol. 105, article 01001. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501001.
5. Zhabko A. V., Gordeev V. A. Calculation of stability of in-homogeneous and anisotropic slopes / Mezinárodní konference Geodézie a Důlní měřičství 2015 XXII. Konference Společnosti důlních měřičů a geologů. Zasedání odborných komisí ISM. Praha, 2015.
6. 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. 2018, pp. 41–47.
7. Pavlovich A. A., Korshunov V. A., Bazhukov A. A., Melnikov N. Ya. Estimation of rock mass strength in open-pit mining // Journal of Mining Institute. 2019, vol. 239, Pp. 502–509. DOI: 10.31897/PMI.2019.5.502.
8. 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.
9. Жариков В. П. Инженерно-геологическое и гидрогеологическое обоснование эксплуатации и рекультивации гидроотвалов вскрышных пород Центрального Кузбасса. Дисс. канд. техн. наук. — М., 2005. — 186 с.
10. Кутепов Ю. И., Васильева А. Д. Инженерно-геологические условия внешнего отвалообразования на разрезах Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 10. — С. 122–131. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-10-0-122-131.
11. Кутепов Ю. И., Мухина А. С. Оценка влияния гидрогеомеханических процессов в техногенных массивах высоких отвалов на геологические условия территорий их размещения // Международный научно-исследовательский журнал. — 2021. — № 1(103/2). — С. 56–59. DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.034.
12. 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.
13. Шипилова А. М., Семина И. С. Особенности физических свойств почв техногенных ландшафтов лесостепной зоны Кузбасса // Известия УГГУ. — 2016. — № 3(43). — С. 25–28. DOI: 10.21440/2307-2091-2016-3-25-28.

14. Drebenstedt C., Argimbaev K. R. Korkinsk brown coal open pit as a case study of endogenous fires // *International Journal of Engineering*. 2021, vol. 34, pp. 292 – 304. DOI: 10.5829/IJE.2021.34.01A.32.

15. Пашкевич М. А., Левчук И. Р. Оценка и снижение негативного воздействия намывных массивов угледобывающих предприятий на природную среду // *Записки Горного Института*. – 2013. – № 203. – С. 86 – 89.

16. Alekseenko V. A., Bech J., Alekseenko A. V., Shvydkaya N. V., Roca N. Environmental impact of disposal of coal mining wastes on soils and plants in Rostov Oblast, Russia // *Journal of Geochemical Exploration*. 2018, vol. 184, part B, pp. 261 – 270. DOI: 10.1016/j.gexplo.2017.06.003.

17. Soloviev S., Semina I. S., Androkhanov 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. **WIAS**

REFERENCES

1. Kutepov Yu. I., Kutepova N.A., Vasil'eva A. D. External dump stability substantiation and monitoring in Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 4, pp. 109–120. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-109-120.

2. Selyukov A. V. To correct the distribution of the volume of overburden waste dumps existing coal mine. *Journal of Mining Institute*. 2016, no. 219, pp. 387 – 391. [In Russ]. DOI: 10.18454/pmi.2016.3.387.

3. Posphehov G. B., Pankratova K. V., Straupnik I. A., Ustiugov D. L. Problems of land reclamation during liquidation of coalmining enterprises. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017, vol. 87, no. 4, pp. 1 – 5. DOI: 10.1088/1755-1315/87/4/042015.

4. Cheskidov V., Kassymkanova K.-K., Lipina A., Bornman M. Modern methods of monitoring and predicting the state of slope structures. *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 105, article 01001. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501001.

5. Zhabko A. V., Gordeev V. A. *Calculation of stability of in-homogeneous and anisotropic slopes. Mezinárodní konference Geodézie a Důlní měřictví 2015 XXII. Konference Společnosti důlních měřičů a geologů. Zasedání odborných komisí ISM. Praha, 2015.*

6. 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*. 2018, pp. 41 – 47.

7. Pavlovich A. A., Korshunov V. A., Bazhukov A. A., Melnikov N. Ya. Estimation of rock mass strength in open-pit mining. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 239, Pp. 502 – 509. DOI: 10.31897/PMI.2019.5.502.

8. 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.

9. Zharikov V. P. *Inzhenerno-geologicheskoye i gidrogeologicheskoye obosnovaniye ekspluatatsii i rekultiva-tsii gidrootvalov vskryshnykh porod Tsentral'nogo Kuzbassa* [Engineering-geological and hydrogeological justification of operation and recultivation of hydraulic dumps of overburden rocks of the Central Kuzbass], Candidate's thesis, Moscow, 2005, 186 p.

10. Kutepov Yu. I., Vasil'eva A. D. Geotechnical conditions of external dumping at open pit mines in Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 10, pp. 122 – 131. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-10-0-122-131.

11. Kutepov Yu. I., Mukhina A. S. Assessment of the influence of hydro-geomechanical processes in anthropogenic masses of high stockpiles on the geocological conditions of surrounding territories. *International Research Journal*. 2021, no. 1 (103/2), pp. 56 – 59. [In Russ]. DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.034.

12. 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.

13. Shipilova A. M., Semina I. S. Features of physical properties of soil of technogenic landscapes of forest-steppe zone of Kuzbass. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2016, no. 3(43), pp. 25 – 28. [In Russ]. DOI: 10.21440/2307-2091-2016-3-25-28.

14. Drebenstedt C., Argimbaev K. R. Korkinsk brown coal open pit as a case study of endogenous fires. *International Journal of Engineering*. 2021, vol. 34, pp. 292 – 304. DOI: 10.5829/IJE.2021.34.01A.32.

15. Pashkevich M. A., Levchuk I. R. Assessment and reduction of the negative impact of alluvial massifs of coal mining enterprises on the natural environment. *Journal of Mining Institute*. 2013, no. 203, pp. 86 – 89. [In Russ].

16. Alekseenko V. A., Bech J., Alekseenko A. V., Shvydkaya N. V., Roca N. Environmental impact of disposal of coal mining wastes on soils and plants in Rostov Oblast, Russia. *Journal of Geochemical Exploration*. 2018, vol. 184, part B, pp. 261 – 270. DOI: 10.1016/j.gexplo.2017.06.003.

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.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кутепов Юрий Иванович¹ – д-р техн. наук, профессор,
зав. лабораторией, e-mail: koutepovy@mail.ru,

Кутепова Надежда Андреевна¹ – д-р техн. наук,
главный научный сотрудник,

Васильева Анастасия Дмитриевна¹ – канд. техн. наук,
научный сотрудник,

Мухина Александра Сергеевна¹ – аспирант,

¹ Санкт-Петербургский горный университет.

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,

N.A. Kutepova¹, Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher,

A.D. Vasileva¹, Cand. Sci. (Eng.), Researcher,

A.S. Mukhina¹, Graduate Student,

¹ Saint-Petersburg Mining University,

199106, Saint-Petersburg, Russia.

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

Получена редакцией 28.09.2020; получена после рецензии 26.05.2021; принята к печати 10.07.2021.

Received by the editors 28.09.2020; received after the review 26.05.2021; accepted for printing 10.07.2021.

