

## ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271.3.45

### ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕГО ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**В. И. Ческидов, А. В. Резник**

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,  
E-mail: cheskid@misd.nsc.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Выполнен анализ области применения внутреннего отвалообразования вскрышных пород при открытой добыче минерального сырья. Выделены особенности формирования внутренних породных отвалов на пологопадающих и крутопадающих месторождениях. Приведена классификация внутренних отвалов вскрышных пород. Отмечены возможные пути и способы увеличения объемов складирования вскрышных пород во внутренних отвалах на основе рационального использования техногенного ресурса выработанных карьерных пространств. Рассматриваются проблемы экологической безопасности процессов отвалообразования.

*Месторождение, полезные ископаемые, открытая разработка, внутреннее отвалообразование, вскрышные породы, выработанное пространство, экологическая безопасность*

DOI: 10.15372/FTPRPI20220206

В последние десятилетия за рубежом и в России отмечается устойчивая тенденция увеличения количества добываемых твердых полезных ископаемых [1, 2]. Из недр извлекается более двухсот их наименований с негативным воздействием горного производства на природную среду и образованием значительных объемов производственных отходов. По данным Росстата РФ, в 2020 г. горнодобывающими отраслями в стране произведено более 6.7 млрд т отходов преимущественно V класса опасности, основной объем которых составляют вскрышные породы [3]. Это обусловлено развитием в стране открытого способа добычи полезных ископаемых, сопровождающегося нарушением лито- и гидросферы, образованием горных выработок и техногенных массивов — отвалов вскрышных пород и отходов производства.

При всем разнообразии горно-геологических условий месторождений их эксплуатация открытым способом осуществляется, как правило, по транспортной и комбинированной (транспортно-бестранспортной) системам разработки, определяющим выемку из недр и складирование значительных объемов вскрышных пород на внешних отвалах, размещаемых за границами карьерных полей. В связи с повсеместным ухудшением горнотехнических условий современные разрезы и карьеры вынуждены перерабатывать постоянно возрастающие объемы горной массы, что вызвано интенсификацией добычи полезных ископаемых, ростом глубины

горных работ и освоением новых месторождений в менее благоприятных условиях. Это, в свою очередь, требует изъятия значительных земельных площадей для ведения горных работ и складирования вскрышных пород.

В России горнодобывающими предприятиями ежегодно нарушается более 145 тыс. га земель, а добыча 1 млн т угля приводит к нарушению до 42 га земельных угодий. Практикой открытых горных работ установлено, что из общей площади земельного отвода под горные предприятия от 20 до 45 % занимают внешние отвалы вскрышных пород и 11–13 % хвостохранилища обогатительных фабрик, т. е. более половины всех изымаемых для нужд горного производства земель [4]. С учетом постоянно ужесточающихся экологических требований проблема снижения негативного воздействия открытых горных работ на природную среду становится все более актуальной.

Одним из наиболее действенных путей снижения ресурсоемкости и повышения экологической безопасности открытых горных работ является расширение области применения внутреннего отвалообразования вскрышных пород на основе рационального использования выработанных карьерных пространств. Многолетний опыт открытой добычи твердых полезных ископаемых показал, что наибольшие возможности для этого имеют горизонтальные и пологопадающие пластовые месторождения, позволяющие вести их отработку по бестранспортной технологии с непосредственной перевалкой вскрышных пород в выработанное карьерное пространство. В России эта высокопроизводительная и экономичная технология нашла широкое применение на разрезах страны. На месторождениях с наклонным и крутопадающим залеганием пластов организация постоянных внутренних отвалов вскрышных пород возможна при наличии в границах карьерного поля участков или горных выработок, достигших конечной глубины разреза [5]. При соответствующем технико-экономическом обосновании целесообразно ведение горных работ с временными породными отвалами в границах карьерного поля, подлежащими последующему перемещению в постоянные отвалы, как на Талдинском угольном месторождении Кузбасса [6]. Интерес представляют и экономически обоснованные решения по складированию вскрышных пород действующего разреза (карьера) в выработанном пространстве уже отработанных карьерных участков или полей [7].

На рис. 1 приведена классификация внутренних отвалов вскрышных пород, составленная с учетом их специфики и условий формирования.

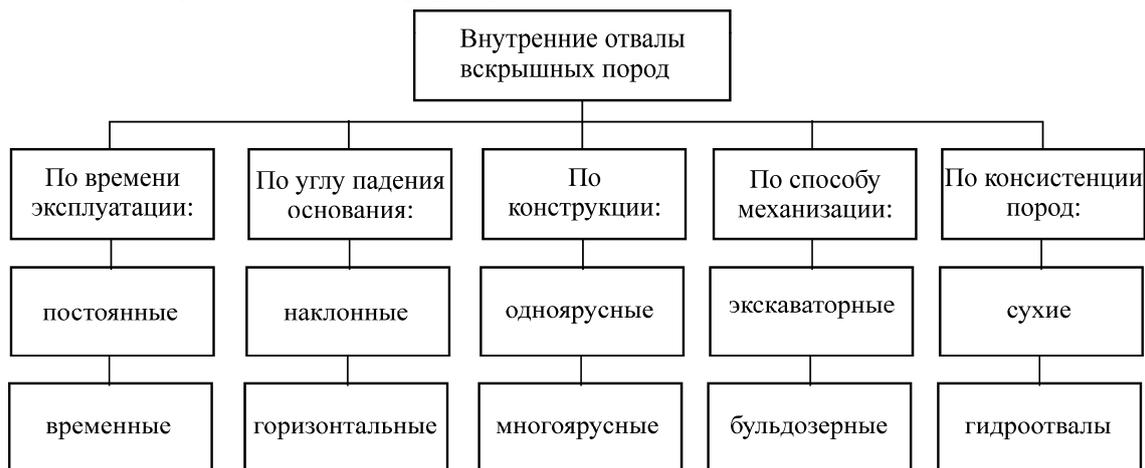


Рис. 1. Классификация внутренних отвалов вскрышных пород

Под постоянными понимаются отвалы, формируемые в выработанном карьерном пространстве, складирование вскрышных пород в которых не предусматривает последующего их перемещения, под временными — отвалы, временно размещаемые на поверхности или на од-

ном из горизонтов разреза или карьера, подлежащие удалению по мере подработки горными работами с перемещением пород в постоянные отвалы. Размещение постоянных отвалов может быть реализовано как на почве нижнего пласта при отработке массивов вскрышных пород по бестранспортной технологии, так и на основаниях, образующихся при доработке горных участков или карьерных полей. Организация временных отвалов предусматривается на горизонтальном (или близком к нему) основании, облегчающем складирование и последующее удаление горной массы. Экскаваторный способ механизации отвальных работ предполагает применение экскаваторов-драглайнов, обеспечивающих наилучшие результаты при складировании пород, особенно в многоярусные отвалы, формируемые на наклонном основании, бульдозерный (может быть в комплексе с экскаваторным) — при складировании вскрышных пород в отработанных горных участках действующего разреза или соседних карьерных полей, а также для вскрытия выходов угольных пластов в гористой местности с перемещением вскрыши под откос.

Многолетний опыт эксплуатации разрезов Кузбасса показал возможность отработки напологопадающих месторождениях вскрышной толщи мощностью 50–65 м (с многократной переэкскавацией горной массы). Дальнейшее увеличение мощности бестранспортной вскрыши и объемов внутреннего отвалообразования сдерживается из-за ухудшающихся горнотехнических условий разрезов, а также ограниченных линейных параметров существующего парка драглайнов. В числе основных факторов, влияющих на объемы внутреннего отвалообразования, следует выделить: горно-геологические условия и системы разработки месторождения; параметры выработанного пространства, предназначенного для этих целей; угол наклона и устойчивость подотвальной поверхности; физико-механические свойства складированных пород; технологические схемы экскавации и переэкскавации вскрышных пород; параметры внутренних отвалов. Параметры пород выработки, а также характеристики складированных пород и основании внутреннего отвала определяют его вместимость, степень использования которой может варьировать в зависимости от технологических схем отвалообразования и параметров отвалов.

Наиболее благоприятные условия для внутреннего отвалообразования имеют горизонтальные и пологопадающие пластовые месторождения (с углом падения залежи  $12-15^\circ$ ), позволяющие вести их освоение по углубочной продольной однобортовой системе разработки (по акад. В. В. Ржевскому). При применении этой системы на разрезах Южного Кузбасса потенциальная вместимость внутренних отвалов используется только для складирования по бестранспортной технологии вскрышных пород 1–2 нижних междупластий, а основной объем вскрыши с вышележащих пластов вывозится на внешние отвалы. Разработка наклонных и крутопадающих месторождений повсеместно производится с внешним отвалообразованием с единичными случаями организации внутренних отвалов в уже отработанных блоках или участках действующих разрезов и карьеров [8]. Более высокие показатели по степени использования выработанного пространства для внутреннего отвалообразования обеспечивает углубочная продольно-поперечная система разработки протяженных месторождений с передовым карьером (блоком) и разворотом фронта горных работ после достижения конечной глубины разреза. Продольная система разработки имеет преимущества для внутреннего отвалообразования на месторождениях с углами падения нижнего пласта  $6-8^\circ$ , а продольно-поперечная на более крутых пластах (рис. 2) [9].

В [9] установлено, что объем внутреннего отвалообразования при продольно-поперечной системе зависит от соотношения длин первоочередного блока и всего поля разреза (таблица). В зависимости от сочетания указанных параметров на внутреннем отвале может быть размещено 40–80 % вскрышных пород. Уменьшение длины первоочередного блока от 1200 до 400 м ведет к увеличению приращения доли  $D$  с 11 до 23 % (в зависимости от глубины и длины разреза). Степень влияния на приращение доли  $D$  длины разреза не столь значительна (4–5 % на 1000 м) и определяется его глубиной.

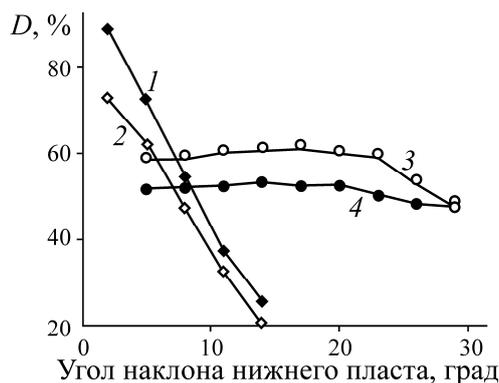


Рис. 2. Доля вскрышных пород  $D$  из общего объема вскрыши, размещаемой на внутреннем отвале разреза глубиной 250 м, длиной 5 км (1, 3) и 3 км (2, 4), обрабатываемого продольной (1, 2) и продольно-поперечной (3, 4) системами

ТАБЛИЦА. Доля вскрышных пород, размещаемых во внутренних отвалах, в зависимости от параметров разреза, %

$H$ , м	Общая длина разреза, м	Длина первоочередного блока, м				
		400	600	800	1000	1200
150	4000	70.5	66.9	62.6	54.5	48.2
	5000	72.7	70.3	67.5	62.6	58.8
	6000	78.5	76.1	73.5	69.0	65.7
	7000	80.0	77.4	74.6	70.2	67.2
250	4000	66.8	62.6	58.4	51.9	47.4
	5000	69.4	66.4	63.4	58.7	55.6
	6000	74.7	71.6	68.5	63.7	60.5
	7000	79.4	76.6	73.7	69.1	65.7
350	4000	62.2	57.9	53.5	46.6	41.7
	5000	69.8	66.7	63.4	57.7	53.7
	6000	74.4	71.3	68.2	63.5	60.5
	7000	75.2	72.9	70.5	66.9	64.5

Степень влияния физико-механических свойств подстилающих и складированных пород на вместимость отвалов обусловлена их прочностными характеристиками и гранулометрическим составом, ограничивающими высоту, углы откосов отвальных ярусов и генерального откоса отвала. Если устойчивый генеральный угол для внутреннего отвала высотой 100 м угольного разреза, формируемого из прочных пород (песчаники, алевролиты), составляет порядка  $32.8^\circ$ , то при складировании слабых пород (суглинки, супеси, глины) на этом же основании он не должен превышать  $23^\circ$ . Приведенные на рис. 3 зависимости расчетной емкости внутренних отвалов ( $V$ ) от физико-механических свойств складированных вскрышных пород и углов наклона основания отвала разреза глубиной 200 м и длиной 5 км свидетельствуют о том, что увеличение угла наклона основания на  $5 - 11^\circ$  снижает емкость отвала в 3.2 – 3.6 раза, а складирование

слабых пород в сравнении с крепкими в 1.10–1.35 раза. При этом высота отвальных ярусов  $h$  не оказывает влияния на устойчивость отвалов и их емкость с прочными породами, но снижает со слабыми породами.

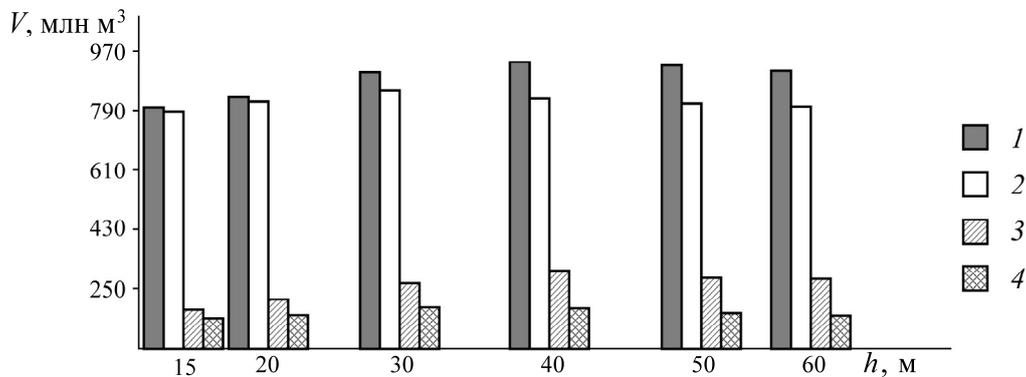


Рис. 3. Зависимость емкости внутреннего отвала  $V$  от физико-механических свойств складированных пород и угла падения пласта (1, 2 — 5°; 3, 4 — 11°); 1, 3 — прочные породы; 2, 4 — слабые породы

Максимально возможный объем устойчивого внутреннего бестранспортного отвала может быть достигнут путем оптимизации генерального угла откоса отвала на основе анализа физико-механических свойств складированных пород. Влияние бестранспортных технологических схем ведения вскрышных работ на вместимость внутренних отвалов определяется линейными параметрами драглайнов. Это касается процессов переэкскавации горной массы, предполагающих неоднократное ее перемещение в усложненных схемах. Установлено [10], что линейные параметры драглайна при отработке рабочего блока оказывают существенное влияние на количество ходов и коэффициент переэкскавации, а вместимость ковша — на ее производительность (рис. 4).

Снижение затрат на переэкскавацию горной массы при бестранспортной отработке массивов вскрышных пород может быть достигнуто за счет увеличения длины стрелы драглайна, а повышение производительности — благодаря увеличению вместимости ковша. Максимальный эффект от увеличения вместимости ковша (рис. 4б, кривая 3) достигается на переэкскавации горной массы. Таким образом, повышение коэффициента использования вместимости отвалов возможно путем совершенствования бестранспортных технологических схем в направлении оптимизации порядка формирования отвалов и их параметров, использования на экскавации и переэкскавации вскрышных пород драглайнов с увеличенными линейными параметрами.

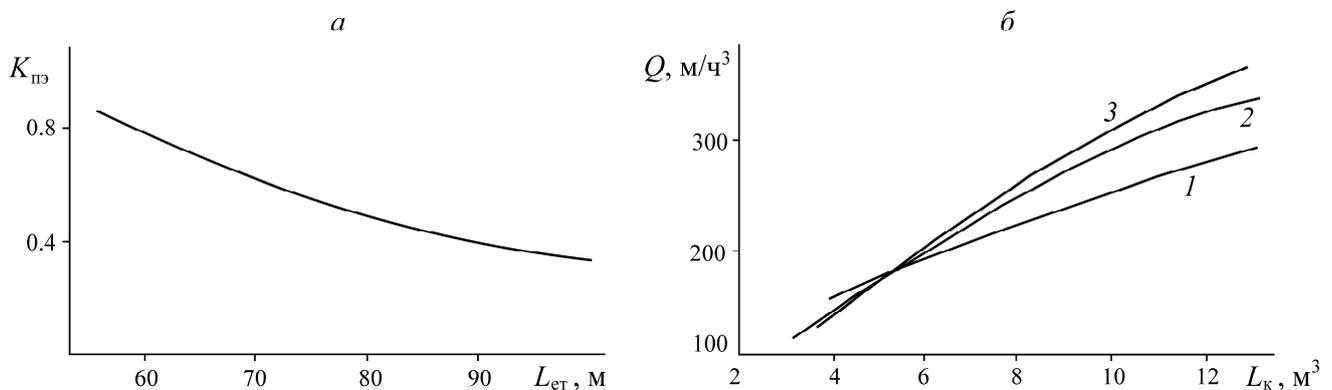


Рис. 4. Зависимость коэффициента переэкскавации от линейных параметров (а) и производительности драглайна от вместимости ковша (б): 1 — на вскрыше; 2 — на вскрыше с переэкскавацией; 3 — на переэкскавации

На практике открытых горных работ апробирован ряд инженерных способов, технологических схем отвалообразования, направленных на повышение устойчивости и вместимости отвалов: устройство призм упора в основании отвала; установление оптимального соотношения его высоты и угла откоса; рациональное размещение в свободной емкости отвала переэкскавируемой горной массы; отдельная укладка разнопрочных пород и т. п. В определенных условиях их реализация позволяет повысить степень использования отвальных площадей и снизить эксплуатационные расходы на ведение вскрышных работ.

Наиболее сложные условия для внутреннего отвалообразования вскрышных пород встречаются при разработке обводненных месторождений, что обусловлено негативным воздействием карьерных вод на устойчивость отвалов. На примере Урюпского бурогоугольного (Кемеровская обл.) и Бакчарского железорудного (Томская обл.) месторождений предложены технологические схемы ведения открытых горных работ с внутренним отвалообразованием без осушения продуктивной толщи на основе эффективного использования природных и техногенных ресурсов [10–12]. В обоих вариантах (рис. 5) отработка массивов вскрышных пород 2 предусматривается гидромеханизированным способом с помощью гидромониторно-землесосных комплексов 3 с питанием их карьерными водами и складированием гидросмеси пород в гидротвалах 7, размещаемых в выработанном карьерном пространстве.

Особенностью гидроотвалов является их динамичный характер, предусматривающий развитие отвального фронта по почве нижнего пласта полезного ископаемого вслед за продвижением фронта добычных работ. В первом варианте гидроотвал формируется без возведения оградительной дамбы, начиная от выхода угольного пласта под наносы (после проходки драглайном разрезной траншеи), и в дальнейшем развивается по падению пласта (рис. 5а), во втором — с оградительными дамбами (рис. 5б), возводимыми драглайном в процессе отработки вскрышной заходки по нижнему пласту.

Аккумуляция карьерных вод в первом варианте осуществляется в технологическом водоеме 6, формируемом на всей площади выработанного пространства, во втором — в водоприемной траншее 10, сооружаемой драглайном 8 после отработки вскрышной заходки 9. Проходка траншеи производится драглайном 8 последовательно, после завершения полного цикла вскрышных и добычных работ в очередной заходке с одновременным возведением оградительной дамбы гидроотвала с геометрическими параметрами траншеи, обеспечивающими условие

$$V_{\text{тр}} > (V_{\text{ао}} + V_{\text{пв}} + V_{\text{фв}}) - (V_{\text{гв}} + V_{\text{пв}}),$$

где  $V_{\text{тр}}$  — объем траншеи, м<sup>3</sup>;  $V_{\text{ао}}$ ,  $V_{\text{пв}}$  — приток атмосферных осадков и приток подземных вод соответственно, м<sup>3</sup>/сут;  $V_{\text{фв}}$  — приток воды в результате фильтрации из гидроотвала, м<sup>3</sup>/сут;  $V_{\text{гв}}$  — расход воды на нужды гидромеханизации вскрышных работ, м<sup>3</sup>/сут;  $V_{\text{пв}}$  — потери воды в процессе ведения вскрышных работ, м<sup>3</sup>/сут.

Использование предлагаемых технологических схем при отработке обводненных месторождений твердых полезных ископаемых позволит: исключить трудоемкие и весьма затратные операции по осушению месторождений; использовать карьерные воды в замкнутом технологическом цикле выемки и транспортирования вскрышных пород; разместить основной объем вскрыши в гидроотвале, формируемом в выработанном карьерном пространстве; повысить экологическую безопасность горных работ.

Анализ результатов исследований показал неоднозначность влияния рассмотренных факторов на вместимость внутренних отвалов вскрышных пород на разрезах и карьерах. В наибольшей степени этот показатель зависит от параметров выработанного пространства, в котором формируется отвал, и характеристики подотвальной поверхности (угол наклона, тип подстилающих пород и их влажность). Параметры выработанного пространства, в свою

очередь, находятся в зависимости от применяемой системы разработки карьерного поля и порядка его отработки, которые могут устанавливаться в процессе проектирования и планирования горных работ.

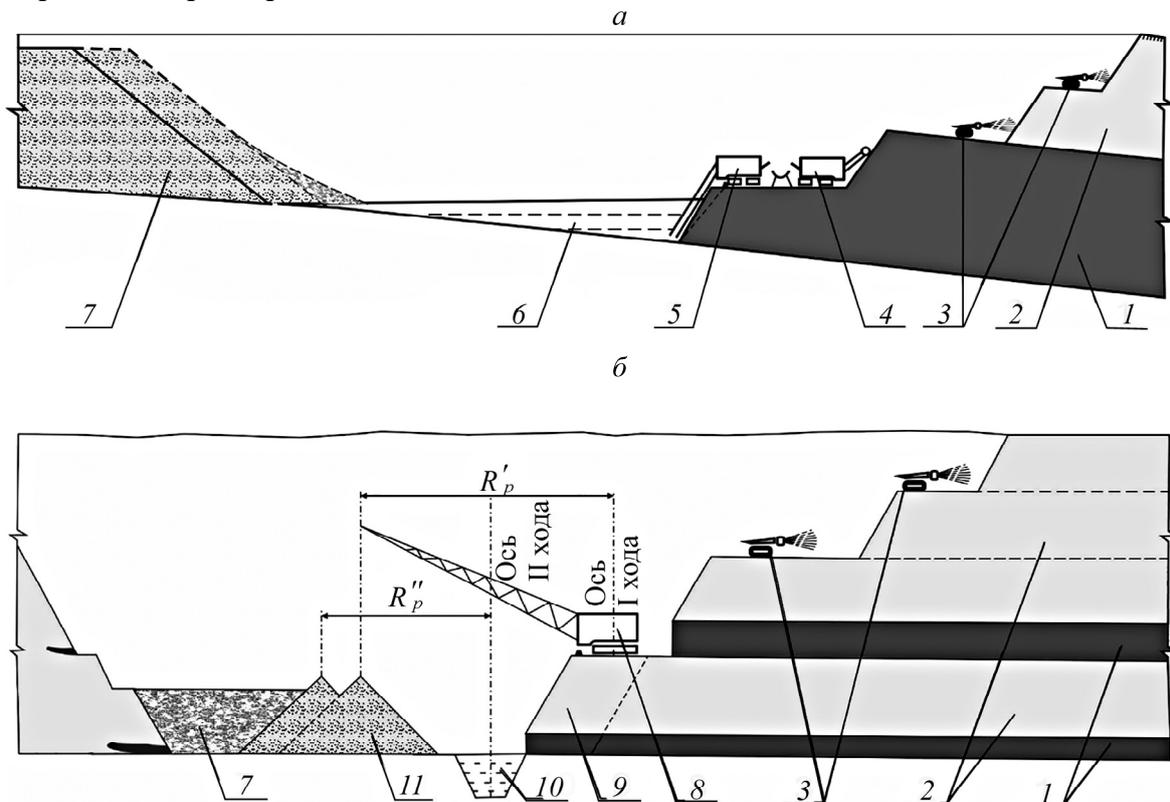


Рис. 5. Технологические схемы открытой разработки обводненных пластовых месторождений с внутренним отвалообразованием: 1 — пласты полезного ископаемого; 2 — вскрышные породы; 3 — гидромониторно-землесосный комплекс; 4, 5 — роторный и цепной экскаваторы; 6 — технологический водоем; 7 — гидротоувал; 8 — драглайн; 9 — вскрышная заходка; 10 — водоприемная траншея; 11 — оградительная дамба

## ВЫВОДЫ

Один из наиболее эффективных путей повышения конкурентоспособности и экологической безопасности открытой добычи минерального сырья — увеличение объемов внутреннего отвалообразования вскрышных пород на разрезах и карьерах. Установлено, что на параметры и объемы внутренних отвалов при ведении открытых горных работ наибольшее влияние оказывают следующие факторы: горно-геологические условия и система разработки месторождения; параметры выработанного карьерного пространства; угол наклона и устойчивость подотвальной поверхности; физико-механические свойства складированных пород; технологические схемы экскавации и переэкскавации вскрышных пород; параметры внутренних отвалов.

Предложены ресурсосберегающие экологически ориентированные технологические схемы открытой разработки обводненных месторождений твердых полезных ископаемых без осушения продуктивной толщи с внутренним отвалообразованием вскрышных пород на основе рационального использования природных и техногенных ресурсов, обеспечивающие снижение инвестиционных затрат и эксплуатационных расходов на добычу полезных ископаемых при минимальном воздействии на природную среду.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дергачев А. Л., Старостин В. И.** Тенденции развития минерально-сырьевого комплекса на рубеже веков // Вестн. МГУ. — 2018. — Сер. 4. Геология. — № 1. — С. 4–9.
2. **Fortier S. M., Thomas C. L., McCullough E. A. et al.** Global trends in mineral commodities for advanced technologies, *Natural Resources Research*, 2018, Vol. 27. — P. 191–200.
3. **Росстат РФ.** Основные показатели охраны окружающей среды // Стат. бюл. — 2021. — 109 с.
4. **Жариков В. П., Ермошкин В. В., Клейменов Р. Г.** Рациональное землепользование при формировании отвалов и гидроотвалов на разрезах Кузбасса // Вестн. КузГТУ. — 2011. — № 1. — С. 34–36.
5. **Курленя М. В., Медведев М. Л., Колдырев Ю. И.** Технология разработки нижней части карьерного поля с внутренним отвалообразованием на крутопадающих месторождениях // ГИАБ. — 2008. — № 9. — С. 214–228.
6. **Дмитриенко А. И.** Перспективы внедрения внутреннего отвалообразования на карьере № 1 открытого акционерного общества “Центральный горно-обогатительный комбинат” // Экология и природопользование. — 2003. — № 6.
7. **Курехин Е. В.** Технологические схемы отвалообразования вскрышных пород в карьерной выемке смежного участка // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. — 2017. — Т. 328. — № 5. — С. 67–82.
8. **Габитов Р. М., Гавришев С. Е., Бондарева А. Р., Кузнецова Т. С., Литвинов А. М.** Влияние горнотехнических условий разработки крутопадающих месторождений на формирование внутренних отвалов при доработке и реконструкции карьеров // Вестн. МГТУ им. Г. И. Носова. — 2009. — № 1. — С. 1–6.
9. **Зайцева А. А., Зайцев Г. Д.** Анализ влияния горно-геологических условий и технологических параметров на вместимость внутренних отвалов на пологих месторождениях // ФТПРПИ. — 2009. — № 4. — С. 86–96.
10. **Ческидов В. И., Норри В. К., Саканцев Г. Г.** Расширение области применения систем открытой разработки угольных месторождений с перевалкой вскрыши драглайнами // ФТПРПИ. — 2014. — № 4. — С. 89–96.
11. **Резник А. В.** О рациональном использовании карьерных вод при освоении обводненных бурогольных месторождений Канско-Ачинского бассейна // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2020. — № 1. — Т. 7 — С. 28–34.
12. **Ческидов В. И., Гаврилов В. Л., Резник А. В., Бобыльский А. С.** Условия и технологии отработки Бакчарского железорудного месторождения // ФТПРПИ. — 2021. — № 5. — С. 94–105.

*Поступила в редакцию 10/III 2022*

*После доработки 13/III 2022*

*Принята к публикации 14/III 2022*