

УДК 622.2

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОСУШЕНИЯ ОБВОДНЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
НА ДНЕ КАРЬЕРА “АЙХАЛ”**

Л. А. Еланцева¹, С. В. Фоменко²

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
E-mail: ¹Elantseva@bsu.edu.ru, ²SVFomenko@rambler.ru,
ул. Победы, 85, 308015, г. Белгород, Россия*

Рассмотрена проблема постепенного повышения уровня пульпы в карьере “Айхал”. Определено, что уровень пульпы в зумпфе карьера повышался при разработке месторождения подземным способом под защитой предохранительного целика, функция которого — оградить горные выработки от прорыва обводненных илов со дна карьера. Разработаны перспективные методы стабилизации обводненных донных отложений с целью обеспечения безопасных и благоприятных условий ведения подземных горных работ.

Карьер “Айхал”, донные отложения, стабилизация, дренажные мероприятия, водоотведение, скальная подушка, механическое крепление пород, замораживание

DOI: 10.15372/FTPRPI20210209

После прекращения открытой отработки месторождений на дне карьеров скапливаются обводненные отложения за счет разрушения бортов карьера и выпадающих атмосферных осадков [1–5]. В настоящее время отработанный карьер “Айхал” — открытая горная выработка, вытянутая в плане с запада на восток, с отметками дна карьера 235 м в юго-западной части и 195 м в северо-восточной. На дне карьера на площади ~8100 м² скопились донные отложения объемом более 340 тыс. м³, представляющие собой насыщенные водой осыпи (глыбы, щебень, дресва и глинистые частицы). Степень увлажнения осыпей зависит от времени года и количества выпадающих атмосферных осадков. Подземная отработка подкарьерных запасов осуществляется слоевой камерно-целиковой системой с механической отбойкой руды и твердеющей закладкой выработанного пространства [6–12].

Для обеспечения безопасных и благоприятных условий ведения подземных горных работ, создания условий для отработки временно неактивных запасов в пределах предохранительного целика, т. е. блока от дна карьера (200.0–194.5 м абс.) до границы безопасной глубины разработки (185–156 м абс.), целесообразно разрабатывать мероприятия, направленные на стабилизацию обводненных донных отложений в карьере.

Результаты анализа фактической горно-гидрогеомеханической ситуации в карьере “Айхал” позволили выделить наиболее перспективные методы стабилизации обводненных донных отложений:

- дренажные мероприятия, направленные на осушение донных отложений и водоотведение с поверхности отложений;
- разубоживание пульпы скальным грунтом (создание скальной подушки);
- изменение агрегатного состояния пульпы путем замораживания с использованием естественного холода;
- применение систем механического крепления горного массива.

ДРЕНАЖНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

В 2003 г. на руднике “Айхал” проведены опытно-промышленные испытания дренажной системы, состоящей из наклонно-восстающих скважин, заложенных из подземных горных выработок в обводненные донные отложения карьера. В процессе дренирования вода в стволах дренажных скважин замерзала из-за низких температур горного массива.

Для обеспечения надежного устойчивого дренирования водного объекта на дне карьера изменена технология сооружения дренажных скважин. Применен станок УЛБ-130, осуществляющий бурение с помощью двух колонн (наружной и внутренней). Наружная защитная колонна обеспечивает изоляцию внутренней рабочей колонны. Когда скважиной достигается необходимая глубина, внутренняя буровая колонна извлекается, оставляя запирающее долото на торце наружной колонны, внутрь которой устанавливается фильтровая колонна. Затем наружная защитная колонна извлекается, обнажая фильтровую колонну в обводненном грунте. Чтобы исключить замерзание воды в фильтровой колонне, на ней в процессе посадки секциями по 0.9 м монтируется греющая лента, обеспечивающая положительные температуры по всей длине фильтра и в прифильтровой зоне грунта. После извлечения защитной колонны труб фильтровая колонна с греющим кабелем остается в грунте, не давая воде замерзнуть при движении по фильтровой колонне и разогревая прискважинную зону грунта. В условиях карьера “Айхал” целесообразно использовать саморегулирующийся нагревательный кабель RSX 15-2. Расчетная схема дренирования обводненных донных отложений представлена на рис. 1.

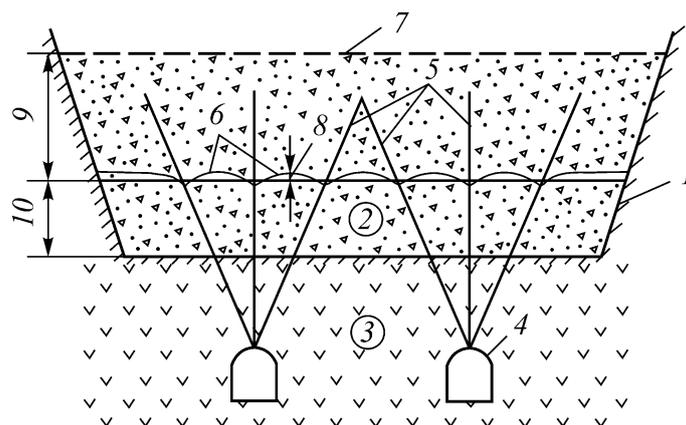


Рис. 1. Расчетная схема дренирования обводненных донных отложений: 1 — борт карьера; 2 — обводненные донные отложения; 3 — предохранительный рудный целик; 4 — горные выработки; 5 — наклонно-восстающие дренажные скважины; 6 — депрессионная кривая; 7 — начальный уровень (гидростатический напор) в донных отложениях (H_0); 8 — превышение фактического уровня над средним (Δh); 9 — переменный во времени гидростатический напор в донных отложениях (S); 10 — переменный во времени средний уровень подземных вод в процессе водопонижения (h)

Дебит одной дренажно-восстающей скважины и системы из n дренажно-восстающих скважин рассчитывается по формуле

$$Q_0 = \frac{2\pi kl}{\ln \frac{1.47l}{r}} \left[\frac{akF}{nA} - \left(\frac{akF}{nA} - H_0 \right) e^{-nAt/\mu F} \right], \quad Q_\Sigma = nQ_0,$$

где k — коэффициент фильтрации грунтов; l — средняя расчетная длина фильтра дренажных скважин, м; r — радиус фильтровой колонны, м; a — коэффициент приведения периода атмосферного питания к одному году; F — средняя площадь обводненных донных отложений, м²; n — количество дренажно-восстающих скважин; параметр $A = (2\pi kl) / \ln(1.47/l)$; H_0 — начальный уровень на конец 2019 г.; μ — гравитационная водоотдача грунтов; Q_0, Q_Σ — дебит одной дренажно-восстающей скважины и суммарный, м³/сут [13].

Для расчета времени, необходимого для осушения грунтового массива на дне карьера “Айхал”, использовались следующие параметры: $k = Q/F = 0.012$ м/сут; $Q = 100$ м³/сут (средний водоприток к горным выработкам без учета атмосферных вод); $F = 8100$ м²; $\mu = 0.2$; $Q_1 = akF = 8$ м³/сут (среднегодовой приток в донные отложения за счет атмосферных осадков), $a = t/365$, t — годовая продолжительность атмосферного питания карьера; $H_0 = 45.5$ м; $h = 2.3$ м (норма осушения); $l = 20$ м; $r = 0.063$ м, параметр $A = 0.245$ м²/сут. Результаты расчетов следующие:

Количество дренажных скважин, шт.	20	30	40	50	60
Время осушения, сут	1800	700	550	450	350

Осушение донных отложений происходит медленно, низкий коэффициент фильтрации и достаточно высокий коэффициент гравитационной водоотдачи требуют значительного количества наклонно-восстающих дренажных скважин ($n = 60 - 50$ шт.) и времени осушения 1.0–1.5 года. Средняя производительность одной дренажной скважины составит: при $t = 0$ сут, $n = 60$ скв., $Q_0 = 11$ м³/сут, $Q_\Sigma = 660$ м³/сут; при $t = 350$ сут, $n = 60$ скв., $Q_0 = 0.4$ м³/сут, $Q_\Sigma = 24$ м³/сут. С течением времени осушения донных отложений карьера дебит дренажной системы существенно снижается. Принципиальная схема системы осушения донных отложений, представленная площадной системой дренажно-восстающих скважин, показана на рис. 2.

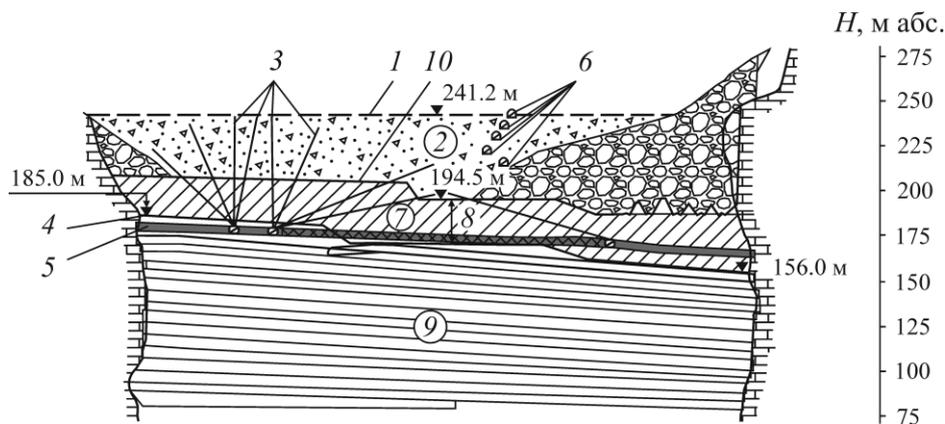


Рис. 2. Принципиальная схема системы осушения донных отложений: 1 — уровень пульпы; 2 — обводненные донные отложения; 3 — наклонно-восстающие дренажные скважины; 4 — граница безопасной глубины разработки; 5 — вентиляционно-закладочный штрек; 6 — дренажные орты; 7 — предохранительный рудный целик; 8 — мощность предохранительного целика; 9 — слои отработки; 10 — дно отработанного карьера

ВОДООТВЕДЕНИЕ С ПОВЕРХНОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

На руднике принята система водоотведения через дренажные орты, последовательно сооружаемые с ростом уровня обводненных донных отложений. В настоящее время дренажные орты 1–3 замыты пульпой, а дренажный орт 4 расположен практически на уровне горизонта донных отложений.

Рассмотрим два варианта перепуска карьерных вод и пульпы со дна карьера: сооружение дренажного орта 5 с водоприемными устройствами и использование дренажного орта 4 с системой наклонно-восстающих дренажных скважин, оборудованных фильтровой колонной. Существующая на руднике система водоотведения через дренажные орты характеризуется наличием в отводимой воде значительного количества взвесей, что приводит к заиливанию трубопроводов и дополнительной нагрузке на отстойник насосной станции гор. + 163 м.

Для решения проблемы освобождения дренажных вод от взвесей предлагается изменение конструкции дренажных ортов (рис. 3). При сооружении дренажного орта 5 на отметке 241 м (до подхода горизонта грунтовых отложений в карьере к отметке почвы дренажного орта) прокладываются две перфорированные металлические дренажные трубы диаметром 400 мм, выдвигающиеся в карьер на расстояние 10 м. Внутри орта перфорированная труба выводится за водонепроницаемую перемышку и через задвижку стыкуется с водоводом к водоперепускным скважинам и насосной станции гор. + 163 м. На устье дренажного орта формируется дренажная отсыпка (призма), внутри которой окажутся дренажные трубы. Дренажный орт начнет работать, когда уровень воды в карьере достигнет отметки 242 м.

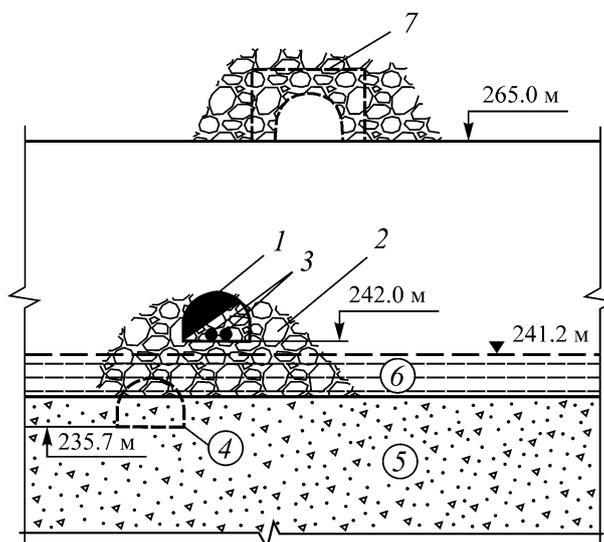


Рис. 3. Водоприемные устройства дренажного орта 5: 1 — дренажный орт 5; 2 — скальная дренажная отсыпка; 3 — водоперепускные перфорированные трубы; 4 — дренажный орт 4; 5 — обводненные донные отложения (илы); 6 — вода; 7 — обрушенный портал

Для спуска атмосферных вод из карьера из-за бетонной перемышки дренажного орта 4 станком УЛБ-130 рекомендуется соорудить до четырех водосбросных скважин, оборудованных фильтровой колонной диаметром 127 мм с фильтром КДФ-120, обеспечивающим поступление в ствол скважины осветленной воды (рис. 4). Водосбросные скважины через задвижки соединяются с водоводом в водосборник насосной станции гор. + 163 м.

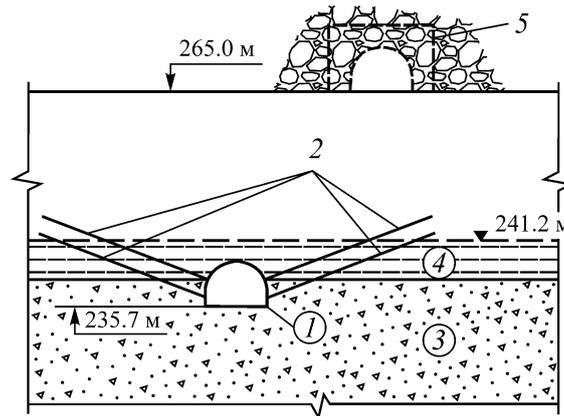


Рис. 4. Водосбросные скважины дренажного орта 4: 1 — дренажный орт 4; 2 — дренажные скважины; 3 — обводненные донные отложения; 4 — вода; 5 — обрушенный портал

Выявлено, что с возрастанием уровня пульпы в карьере увеличивается неконтролируемый приток карьерных вод в подземные выработки рудника “Айхал” за счет увеличения гидростатического давления на ограждающие сооружения системы защиты рудника от поверхностных вод. Основные мероприятия должны основываться на стабилизации обводненных донных осей, а также проводиться работы по укреплению и оптимизации существующей системы водонепроницаемых и водоперепускных сооружений. На прорывоопасных участках сооружаются дополнительные ограждающие конструкции — водонепроницаемые перемычки, представляющие собой глухие бетонные перемычки, оборудованные регулируемыми водовыпусками. С целью снижения давления на ограждающие сооружения системы защиты дополнительно проводятся мероприятия по реконструкции водонепроницаемых перемычек, утративших свою водопропускную способность. Регулируемые водовыпуски перемычек после демонтажа неработающих задвижек можно использовать в качестве кондуктора для последующего сооружения дренажных водосбросных скважин в отперемыченную зону.

Для снижения риска прорыва неконтролируемых притоков воды и обводненной пульпы со дна карьера необходимо провести ревизию и контролировать все скважины, пробуренные в дно карьера из выработок горизонтов, а также водоперепускные скважины, имеющие связь с отперемыченным и затопленным пространством подземных горных выработок рудника. При необходимости скважины ликвидируются методом тампонажа.

После водоотведения с поверхности донных отложений, реализации дренажных мероприятий и осушения донных отложений карьера “Айхал” гидрогеомеханическая ситуация принципиально изменится, гидростатическое давление на дно карьера практически будет снято, грунтовый массив станет прорывобезопасным. Фактически будет осуществлен спуск воды из водного объекта (обводненных грунтов на дне карьера), т. е. разорван напорный фронт, воздействующий на кровлю предохранительного целика.

СОЗДАНИЕ СКАЛЬНОЙ ПОДУШКИ НА ДНЕ КАРЬЕРА

Для создания скальной подушки предлагается использовать блоки скальных долеритовых пород, вскрытых бортами карьера взрывным способом со свободным падением отбитой горной массы на дно карьера. Механизм стабилизации обводненных шламов заключается в проникновении кусков породы в тело шламов под действием кинетической энергии падения с преодолением сопротивления пульпы (вязкого трения). Смесь кусков скалы с пульпой образует гетерогенную систему со значительно меньшей подвижностью и прорывоопасностью. Избыток

скальной массы создает под шламами защитную подушку, способствующую пригрузке пульпы и отжатию части поровой воды в систему дренажных скважин. Это приводит к дополнительной стабилизации грунтового массива.

Скальную подушку рациональнее использовать после осушения грунтовой массы на дне карьера. Сила трения осушенного грунта не позволит кускам скальной породы погрузиться в грунт более чем на 5 м, и подушка будет сформирована на поверхности грунтовой массы. При такой схеме подушка закроет устье дренажного орта 5 и обеспечит надежную фильтрующую призму, которая будет свободно пропускать атмосферную воду к дренажному орту, задерживая грунтовые взвеси.

МЕХАНИЧЕСКОЕ КРЕПЛЕНИЕ ПОРОД В КРОВЛЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО ЦЕЛИКА

Для обеспечения безопасных и благоприятных условий отработки подкарьерных запасов, находящихся в пределах предохранительного целика, предложен способ опережающей трубчатой крепи. Он заключается в опережающем укреплении неустойчивого породного массива в кровле очистных выработок первого подкарьерного слоя на основе предварительного сооружения буровым способом системы несущих элементов. Они представлены обсадными металлическими трубами, которые по мере вскрытия их комбайном подхватываются сплошной деревянной крепью в форме неполной крепежной рамы с забучиванием закрепного пространства, исключая возможность куполообразования (рис. 5а). Схематический вертикальный разрез (вид сбоку) системы трубчатой крепи изображен на рис. 5б.

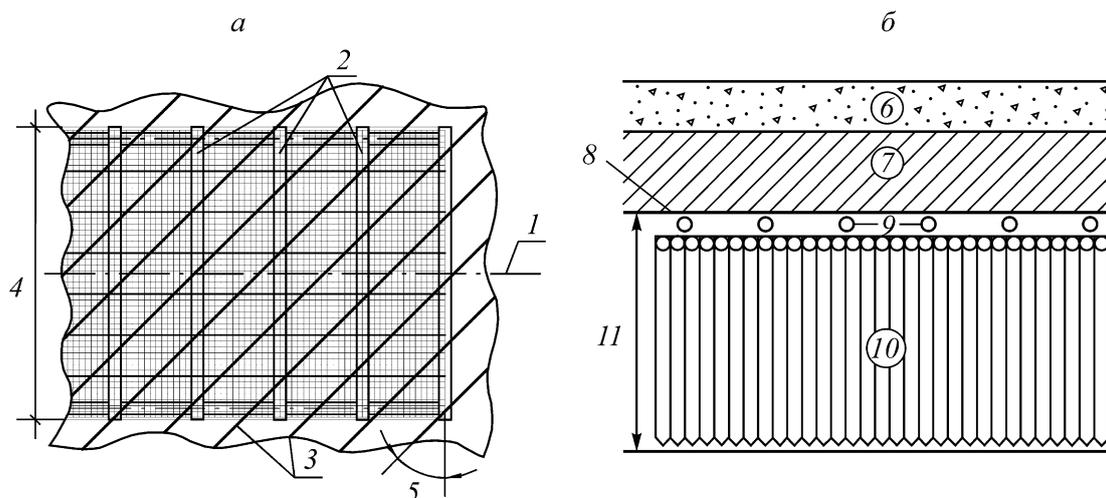


Рис. 5. Система опережающей трубчатой крепи (а) и схематический вертикальный разрез системы трубчатой крепи (б): 1 — ось очистной ленты; 2 — затяжка сплошной деревянной крепью (неполный дверной оклад); 3 — опережающая крепь (металлическая труба); 4 — ширина очистной ленты; 5 — угол между осями скважин опережающего крепления и очистными лентами; 6 — обводненные донные отложения; 7 — предохранительный рудный целик; 8 — граница безопасной глубины разработки; 9 — опережающая крепь (металлическая труба); 10 — затяжка сплошной деревянной крепью (неполный дверной оклад); 11 — первый подкарьерный слой отработки

Применение данной системы целесообразно после осушения обводненных донных отложений карьера. Бурение скважин опережающей крепи выполняется из кольцевого технологического штрека, охватывающего рудное тело на отметке 200–205 м. Скважины позволяют создать в кровле очистных лент первого подкарьерного слоя единую плоскость из системы параллельных несущих элементов (металлических толстостенных труб).

Сооружение скважин опережающей крепи проводится буровым станком УЛБ-130. Бурение осуществляется буровым снарядом внутри вращающейся в обратном направлении защитной колонны из труб, оснащенной породоразрушающим инструментом, с промывкой водой по герметичной схеме (вода циркулирует внутри защитной колонны), что позволяет исключить вторичное обводнение рудного массива и избежать снижения устойчивости руд. После завершения бурения скважины снаряд извлекается, защитная колонна остается в массиве и служит основным элементом крепления кровли очистных лент. При сооружении дренажных скважин технология обратная: обсадные трубы извлекаются, а внутренняя фильтрационная колонна остается. Способ опережающего крепления ориентирован на проходку весьма неустойчивых массивов, склонных к вывалообразованиям (зона контакта крупнообломочных пород и слабоустойчивых увлажненных руд).

СИСТЕМА ВОЗДУШНОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ

При отработке запасов предохранительного целика использование естественного холода для замораживания пород в кровле первого несущего очистного слоя позволяет создать вокруг труб опережающего крепления ледопородные цилиндры. Сомкнувшись, они создадут слой толщиной, равной расстоянию между трубами. В качестве замораживающих колонок могут использоваться сооруженные трубы опережающего крепления, в которые подается охлажденный атмосферный воздух из карьера (рис. 6). Метод обеспечивает полное устранение водопритока и исключает опасность прорыва обводненных донных отложений к участку ведения горных работ.

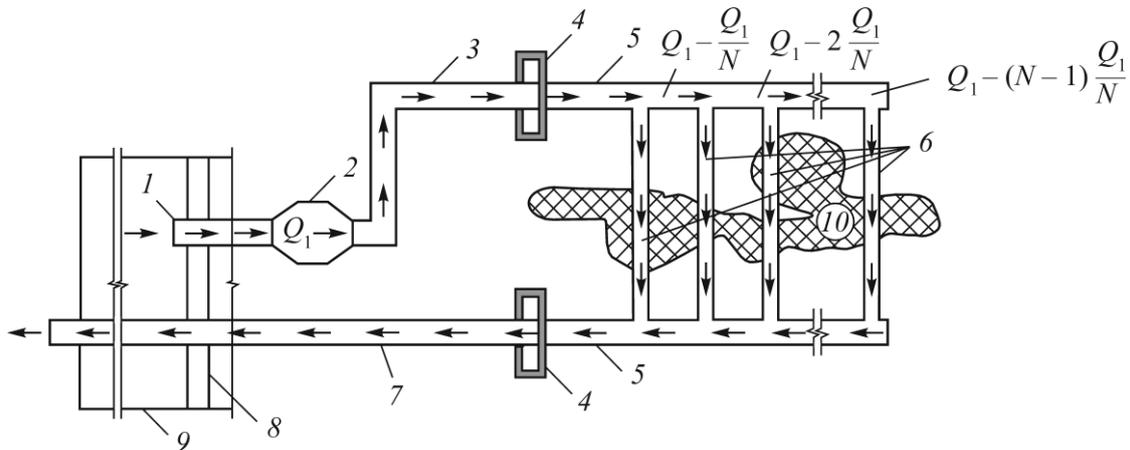


Рис. 6. Система воздушного замораживания: 1 — всасывающий трубопровод; 2 — центробежный вентилятор; 3 — воздухоподающий трубопровод; 4 — воздухонепроницаемая перемычка на воздухоподающей выработке; 5 — воздухоподающая выработка; 6 — замораживающая скважина; 7 — сбросной трубопровод; 8 — водоупорная перемычка на сбойке с карьером; 9 — сбойка с карьером; 10 — рудное тело; Q_1 — количество охлажденного воздуха; N — количество труб

ВЫВОДЫ

Определены наиболее перспективные способы стабилизации донных отложений карьера “Айхал”. Осушение донных отложений с использованием наклонно-восстающих скважин происходит медленно и обусловлено низким коэффициентом фильтрации и относительно высоким коэффициентом гравитационной водоотдачи. Водоотведение с поверхности донных отложений, реализация дренажных мероприятий и осушение отложений изменят гидрогеомеханическую ситуацию: станет возможным ведение очистных работ в пределах предохранительного

целика. От технологии крепления очистных лент зависят безопасные условия отработки запасов. Стабилизация обводненных шламов на дне карьера путем формирования скальной подушки в связи с неудовлетворительным состоянием бортов карьера трудновыполнимая задача в ближайшем будущем. Опережающее механическое крепление пород целесообразно применять при проходке весьма неустойчивого массива, склонного к вывалообразованиям. Использование естественного холода для замораживания пород создает в кровле очистного слоя ледопородные цилиндры вокруг труб опережающего крепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздов А. В., Иост Н. А., Лобанов В. В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. — Иркутск: ИрГТУ, 2008. — 507 с.
2. Борщ-Компонице В. И., Макаров А. Б. Горное давление при отработке мощных пологих рудных залежей. — М.: Недра, 1986. — 270 с.
3. Калмыков Е. П. Борьба с внезапным прорывом воды в горные выработки. — М.: Недра, 1973. — 239 с.
4. Колганов В. Ф., Акишев А. Н., Дроздов А. В. Горно-геологические особенности коренных месторождений алмазов Якутии. — Мирный: Якутнiproалмаз, 2013. — 568 с.
5. Baryshnikov V. D., Baryshnikov D. V., and Khmelinin A. P. Experimental estimation of the mechanical condition of reinforced concrete lining in underground excavations, Proc. of the XIV Int. Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM), Albena, Bulgaria, 2014.
6. Барышников В. Д., Гахова Л. Н., Филатов А. П., Черепнов Н. А. Геомеханическое обоснование выемки запасов в слое при восходящей отработке подкарьерных запасов рудника “Айхал” // ГИАБ. — 2007. — № 15. — С. 119–129.
7. Барышников В. Д., Гахова Л. Н. Геомеханическое обоснование размещения нарезных и очистных выработок при восходящей системе отработки подкарьерных запасов рудника “Айхал” // ФТПРПИ. — 2008. — № 2. — С. 47–55.
8. Барышников В. Д., Барышников Д. В., Хмелинин А. П. К вопросу экспериментального определения напряжений во вмещающих породах рудника “Айхал” АК “АЛРОСА” // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2018. — Т. 5. — С. 265–271.
9. Коваленко А. А., Тишков М. В., Неверов С. А., Неверов А. А., Никольский А. М. Технология отработки подкарьерных запасов полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2016. — Т. 1. — № 3. — С. 305–311.
10. Марков В. С., Павлов А. А., Петрова Л. В., Скрябин Е. П. Разработка рудника “Айхал” выработками с увеличенными параметрами при слоевой системе разработки // ГИАБ. — 2013. — № 8. — С. 373–378.
11. Никольский А. М. Обоснование подземных геотехнологий освоения алмазоносных месторождений Якутии: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — Новосибирск, 2019. — 45 с.
12. Петров А. Н., Акимов Д. Д. Результаты исследований по совершенствованию слоевой системы разработки кимберлитовых месторождений // ГИАБ. — 2013. — № 8. — С. 384–392.
13. Шестаков В. М. Динамика подземных вод. — М.: МГУ, 1979. — 368 с.

*Поступила в редакцию 29/1 2021
После доработки 10/II 2021
Принята к публикации 15/III 2021*