

ПРОБЛЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ДРЕНАЖНЫХ ВОД РУДНИКА «ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНЫЙ»

А. М. Янников, В. Л. Бочаров

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 15 сентября 2019 г.

Аннотация: в процессе обработки коренного месторождения алмазов трубки «Интернациональная» открытыми и подземными горными выработками выполнено вскрытие метегеро-ичерского, толбачанского водоносных комплексов и олекминского водоносного горизонта, что привело к формированию дренажных рассолов. Существующая система защиты от затопления подземного рудника построена по классической схеме и состоит из: дренажных скважин с устройствами управляемого перепуска, дренажных скважин без устройств управления расходом, водоотливных канавок, участковых и главных водосборников и связанных с ними насосных станций. Описанный способ утилизации имеет ряд преимуществ, что позволило исключить возможное негативное воздействие на окружающую среду и поверхностные воды, которое могло бы возникнуть при выборе другого способа их захоронения.

Ключевые слова: Непско-Ботубинская антеклиза, Мирнинский выступ, месторождение трубки «Интернациональная», метегерская свита, ичерская свита, олекминская свита, толбачанская свита, малодобитные трещиноватые коллектора, насыщенные рассолы.

THE PROBLEM OF ENVIRONMENTALLY SAFE DISPOSAL OF DRAINAGE WATERS OF THE «INTERNATIONAL» MINE

A. M. Yannikov, V. L. Bocharov

Voronezh State University

Received 15 September 2019

Abstract: in the process of mining the indigenous diamond deposits of the tube "International" open and underground mine workings performed opening metegero-ichersky, tolbachansky aquifers and olekminsky aquifer, which led to the formation of drainage brines. The existing underground mine flood protection system is built according to the classical scheme and consists of: drainage wells with controlled bypass devices, drainage wells without flow control devices, drainage grooves, precinct and main catchment areas and associated pumping stations. This method of disposal has several advantages that eliminated the possible negative impact on the environment and surface water, which could arise when choosing another method of disposal.

Keywords: Nepsko-Botuobinsky anteklise, Mirninsky ledge, field of a tube "International", metegerskaya suite, icherskaya suite, olyokminskaya suite, tolbachanskaya suite, low-yield fissured collectors, saturated brines.

Введение

Проблема экологически безопасной утилизации дренажных вод, возникающих при обработке месторождений, на настоящий момент весьма актуальна, т.к. в общемировой практике безальтернативно взят вектор не только на снижение техногенной нагрузки

на окружающую среду, но и на введение новых, экологически безопасных методик и технических решений. При изучении мировой практики, несложно заметить, что наиболее перспективным направлением утилизации практически всех жидких отходов является закачка в недра, в том числе в глубокозалегающие

© Yannikov A. M., Bocharov V. L., 2019



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

экранированные коллектора, с низкими коэффициентами фильтрации. Именно обратный возврат дренажных и рудничных вод в водоносный комплекс был выбран при утилизации дренажных вод рудника «Интернациональный».

Рудник «Интернациональный» эксплуатирует коренное месторождение алмазов – трубку «Интернациональную», расположенную в Мало-Ботуобинском алмазоносном районе, относящемся к Якутской алмазоносной провинции, являющуюся уникальным месторождением, как по промышленному содержанию, так и суммарным запасам. Кимберлитконтролирующим для данного месторождения выступает Кюеляхский разлом [1]. До глубины 125 м тело трубки представлено классической воронкообразной формой, в

последующем переходящем в цилиндрическую дятремовую часть, без выделения дополнительных слепых тел и корневых даек.

Месторождение находится в верховьях ручья Маччоба-Салаа – правого притока реки Ирелях [2], являющейся правым притоком реки Малая Ботуобия, которая, в свою очередь, принадлежит бассейну р. Виллой [3].

В административном отношении месторождение находится на территории Мирнинского района Республики Саха (Якутия). Центральным населенным пунктом района является г. Мирный – центр алмазодобывающей и обрабатывающей промышленности Западной Якутии (рис).



Рис. Карьер трубки «Интернациональная».

Краткая гидрогеологическая характеристика вмещающих пород околотрубчатого пространства (в интервалах отработки месторождения)

Месторождение расположено в области сплошного распространения многолетнемерзлых пород (ММП), мощность которых изменяется в пределах 300–390 метров. Верхняя граница ММП контролируется глубиной сезонного протаивания, которая к концу августа на песчаных породах достигает 2,5–4,0 м, а на суглинистых отложениях – 0,3–1,2 м. Сезонные колебания температуры грунтов наблюдаются до глубин 10–12 м. Нулевая изотерма проходит на глубине около 700 м. Локальные опускания границы ММП приурочены к несквозным таликам, развитым под водотоками и водоемами. Существенные изменения в температурный режим почв и пород внес существующий карьер, где сезонное протаивание

пород по бортам в летний период достигает 6–8 м.

Согласно общепринятой схемы [Толстихин, 1941; Романовский, 1966], которая устанавливает взаимоотношение подземных вод и ММП, в верхних частях осадочного чехла района выделяются три основных типа подземных вод: *надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные* [4].

В формировании дренажных вод рудника участвуют:

- дренажные воды карьера, перепускаемые на гор.+85 м, через систему дренажных скважин;
- рудничные воды.

Рассмотрим процесс формирования каждого типа дренажных вод отдельно.

Дренажные воды карьера преимущественно формируются за счет метеорных вод и надмерзлотных вод сезонно-талого слоя. Для данных вод характерен

чаще всего гидрокарбонатно-кальциевый состав, который характеризуется достаточной стабильностью, и изменяется только при наличии легкорастворимых соединений и минералов в водовмещающих породах. На указанный тип вод приходится до 98 % от объема формируемых вод. Оставшиеся до 2 % от объема формируются за счет межмерзлотных вод, приуроченных к карбонатным отложениям нижнего ордовика и верхнего кембрия. Данный тип вод в районе исследований распространен спорадически, генетически связан с криолитологическими процессами и формированием изолированных линз. Межмерзлотные воды были встречены при отработке месторождения открытым способом, все водопрооявления были малобедебны. Состав изливающихся вод был различен: от сульфатного до сульфатно-хлоридного, с изменением состава росла минерализация вод, также рост минерализации уверенно коррелировался с увеличением глубины залегания.

Рудничные воды формируются преимущественно за счет подмерзлотных рассолов (до 90 %) и технологических вод (до 10 %).

Технологические воды генетически связаны с поверхностными пресными водами и используются для приготовления закладочных смесей, орошения шарошек проходческого оборудования и при торкретировании.

Поступающие в выработки рассолы приурочены к метегеро-ичерскому, олекминскому и толбачанскому водоносным комплексам. Рассолы данных комплексов имеют существенные отличия, поэтому приведем их краткую раздельную характеристику.

Основным гидрогеологическим объектом, осложняющим горнотехнические условия отработки кимберлитовой трубки Интернациональная в отм.+85 м/-200 м, является надсолевой *метегеро-ичерский водоносный комплекс* (МИВК), имеющий региональное распространение. Кровлей комплекса на участке работ является подошва многолетнемерзлых пород (ММП). Абсолютные отметки кровли изменяются от +12,0 м. (скв. 306) до +35,0 м. (скв. 2гг). Подошвой комплекса являются сульфатно-карбонатные породы нижней пачки ичерской свиты. Абсолютные отметки подошвы комплекса от (-118,1 м) до (-136,8 м). Общая мощность метегеро-ичерского водоносного комплекса на участке месторождения варьирует в пределах 130,1 м. ÷ 158,0 м. Водоносный комплекс характеризуется фильтрационной неоднородностью в плане, изменяясь от слабопроницаемого до проницаемого. Основными элементами плановой фильтрационной неоднородности являются зоны тектонических нарушений. Проницаемые пласты (коллектора) водоносного комплекса сложены пористыми кавернозными и трещиноватыми известняками, доломитами известковистыми, участками породы огипсованы. Общая пористость изменяется от 3,5 до 15 %. Суммарная эффективная мощность колеблется от 40,2 до 56,8 м. Тип пористости - трещинно-кавернозно-межзерновой, величины K_m от 46 до 70 м²/сут.; коэффициент

пьезопроводности (α) в среднем составляет 10⁶ м²/сут. Коллектора метегерской свиты №№ 1-7 значительно отличаются по своим фильтрационным свойствам от коллектора №8. Размерности полученных, для коллекторов метегерской свиты №№ 1-7, коэффициентов проводимости и пьезопроводности в 10 раз меньше, размерностей соответствующих параметров, охарактеризовывающих 8-й коллектор. По химическому составу воды комплекса хлоридно-натриевые с минерализацией до 120 г/л. Для вод комплекса характерна сероводородная зараженность. Содержание сероводорода до 130 мг/л. Геохимический облик подземных рассолов надсолевого комплекса является характерным для рассолов выщелачивания.

Формула солевого состава:

$$M_{94-120} \frac{Cl_{92}SO_8^4}{(Na + K)_{90}Ca_5Mg_5} ph 6,5 - 8,5 \gamma 1,06$$

Для рассолов данного типа характерно повышенное содержание сульфатов до 6000 мг/дм³ и более.

Они обеднены относительно их минерализации микрокомпонентами. Содержание брома не превышает 58, лития - 1,51, рубидия - 0,04, стронция - 28,6 мг/дм³. Температура подземных вод от (-1,5) до (-2,0 °C). Подземные воды метегеро-ичерского водоносного комплекса обладают сульфатной агрессивностью по отношению к бетону. Состав газов, растворенных в рассолах комплекса изменяется от азотного до азотно-метанового. Газовый фактор колеблется от 0,01 до 0,25.

Необходимо отметить, что минерализация пластовых вод в рамках комплекса имеет некоторые отличия. Для рассолов метегерской свиты минерализация изменяется не в широких пределах 115–120 г/литр. А минерализация рассолов ичерской свиты - 94–120 г/литр. Такое отличие минерализации между пластовыми водами свидетельствует об отсутствии прямой связи между коллекторами и вероятностном отсутствии перетока между пластами-коллекторами. Что в свою очередь позволяет рассматривать восьмой коллектор ичерской свиты как отдельный водный объект, отличный не только по основным гидрогеологическим и ёмкостным параметрам, но и по гидрохимическим показателям. Более низкая минерализация в кровле восьмого коллектора, по всей видимости, связана с плотностной седиментацией пластовых вод в толще пласта. Но необходимо отметить, что опосредованное воздействие (и связь) между коллекторами всё-таки существует. Это обусловлено наличием гидравлических окон в структурно-тектонических зонах, связанным в данном случае с отсутствием экранирующих свойств в зонах оперяющих разломов, приводящее к опосредованной (непрямой) связи между системами коллекторов метегерской и ичерской свит в разных блоках.

Межсолевой олекминский слабоводоносный комплекс приурочен к нижней пачке карбонатных отложений олекминской свиты. Породы в интервале коллекторов представлены трещиноватыми и кавернозными

доломитами, доломитами известковистыми. Горизонт содержит 2–3 пласта – коллектора (№№ 5-6), разделённых между собой глинистыми доломитами, доломито-ангидритами. Мощность пластов – коллекторов от 0,4 м, до 2,5 м. Общая мощность горизонта колеблется от 19,1 м до 30 м. По химическому составу рассолы комплекса хлоридного кальциевого состава с минерализацией до 490 г/л. Они коренным образом отличаются от надсолевых рассолов метегеро-ичерского водоносного комплекса и характеризуются кислой реакцией (рН=3,7-5,8), очень высокими концентрациями брома (более 2750 мг/л), калия (более 8900 мг/л), стронция (>689 мг/л), лития (> 38 мг/л), цинка (> 3,8 мг/л), марганца (>2,1 мг/л).

Формула солевого состава:

$$M_{400-490} \frac{Cl_{99}}{Ca_{62}(Na + K)_{22}Mg_{16}} \text{ рН } 3,7 - 5,8 \gamma 1,285$$

В составе газов решающую роль играет метан (до 95 % по объему), присутствуют тяжелые углеводороды. Характерной особенностью является отсутствие сероводорода. Рассолы являются агрессивными к бетону и металлам по величине рН и содержанию магния.

Межсолевой толбачанский слабоводоносный комплекс обладает низкими коллекторскими свойствами и приурочен к нижней пачке карбонатных отложений толбачанской свиты. В породах *толбачанской свиты* было выделено 8 рассолосодержащих (водонасыщенных) коллекторов (№№ 7-15). Эффективная мощность коллекторов от 2,0 до 20,0 м. Породы в интервале коллекторов представлены доломитами тонко-мелко-зернистыми тёмно-коричневого цвета слаботрециноватые. Каждый коллектор содержит от 3 до 10 проницаемых пластов коллекторов, разделённых между собой глинистыми доломитами, доломито-ангидритами. Мощность пластов – коллекторов от 0,6 м. до 4,5 м. Тип пористости – межзерновой и межзерново-кавернозный. Коэффициент общей пористости варьирует от 3,7 до 6,8 %. Более высокие значения коэффициента общей пористости (до 6,8 %) отмечаются в коллекторах №№ 7, 8, 14 и 15. Общая эффективная мощность коллекторов толбачанского водоносного комплекса 62,2 м. Воды комплекса высоконапорные. По химическому составу рассолы комплекса хлоридного кальциевого состава с минерализацией до 510 г/л. Они несколько отличны от рассолов олёкминского водоносного комплекса и характеризуются кислой реакцией (рН до 5,8), очень высокими концентрациями брома, калия, стронция, лития, цинка, марганца.

Формула солевого состава:

$$M_{440-510} \frac{Cl_{99}}{Ca_{62}(Na + K)_{22}Mg_{16}} \text{ рН } 5,2 - 5,8 \gamma 1,285 - 1,357$$

В составе водорастворенных газов доминирует метан (до 98% по объему), присутствуют тяжелые

углеводороды. Сероводород отсутствует. Рассолы являются агрессивными к бетону и металлам по величине рН и содержанию магния. [5].

Краткая характеристика существующей системы защиты рудника от затопления

Существующая система защиты от затопления подземного рудника построена по классической схеме и состоит из:

- дренажных скважин с устройствами управляемого перепуска;
- дренажных скважин без устройств управления расходом;
- водоотливных канавок;
- участковых и главных водосборников и связанных с ними насосных станций.[6].

Существующая система водоотлива позволяет откачивать в рабочем режиме 1,0 млн. м³ дренажных и рудничных воды в год.

Краткая характеристика существующей системы экологически безопасного захоронения откачиваемых дренажных, рудничных вод и бытовых стоков

Дренажные воды от насосной зумпфового водоотлива по трубопроводу диаметром 100 мм перекачиваются на горизонт -380 м, откуда по одному из двух водоводов диаметром 200 мм, проложенным в клетевом стволе, откачиваются на поверхность в буферную ёмкость и далее самотёком к канализационно-насосной станции узла обратной закачки, который эксплуатируется в промышленном режиме с производительностью от 74 до 2822 м³/сут.

Прямая обратная закачка в коллектора метегеро-ичерского водоносного комплекса поступающих вод, после их предварительной очистки, осложнена смешанным химическим составом вод, формируемым по причине описанного выше генезиса. При осуществлении прямой подачи данных вод в пласт неизбежно возникли бы проблемы с совместимостью уже циркулирующих рассолов и закачиваемых (суммарная минерализация дренажных вод позволяет классифицировать их как ненасыщенные рассолы, в периоды интенсивного поступления дренажных карьерных вод – соленые воды). Из-за происходящих химических реакций происходило бы осаждение менее растворимых соединений и кальматация призабойной и пристволовой зон закачных скважин. Данная проблема была решена существенным непосредственным разбавлением от 1/5 до 1/10 дренажных вод рассолами метегеро-ичерского водоносного комплекса. Отбор вод из пласта производится при помощи водозаборных скважин, пробуренных на расстоянии 1750 метров от эпицентра закачки смешанных природно-техногенных вод. Применение указанного технического решения позволяет рассматривать данный процесс как обратную закачку вод, т.к. подаваемые воды становятся преимущественно рассолами метегеро-ичерского водоносного комплекса, также обратный возврат вод не

позволяет формироваться площадной депрессионной воронке вокруг водозаборных скважин.

Вопрос возврата закачиваемых вод в пределы шахтного поля рудника «Интернациональный», был проработан в рамках моделирования и учтен при определении места для строительства узла обратной закачки. Поэтому для недопущения и минимизации объемов возвращаемых вод все закачные скважины были пробурены за региональным Западным разломом. Данный разлом является классическим тектоническим нарушением участков растяжения, формируемых в рамках палеорифтовых систем. В осевой части данного разлома произошло внедрение продуктов основного магматизма даечного типа. Сформированная дайка долеритов и ее фильтрационные параметры, позволяют относить ее к слабопроницаемым породам, что в свою очередь позволяет формировать изометричный купол растекания вдоль Западного разлома и препятствует возврату закачиваемых вод в пределы шахтного поля рудника «Интернациональный». Для контроля над процессом закачки, а также отстраивания площадного распространения и фронта пьезометрической поверхности, было пробурено и включено в режимную сеть порядка 30 наблюдательных скважин. В процессе работ производится контроль над техническим состоянием эксплуатируемых скважин и формируемым урванным режимом (который существенно ниже экологически безопасных значений).

Выводы

Описанный способ утилизации имеет ряд преимуществ, а именно:

- не требует строительства бессточных накопителей, и обслуживания сопутствующих гидротехнических сооружений;
- не формирует продуктов, требующих дополни-

тельной утилизации, например как остаточная раппа, формируемая при осмотической или мембранной водоочистке;

- не требует больших энергетических затрат;
- эксплуатация узла обратной закачки минимизирует и техногенную нагрузку на метегеро-ичерский водоносный комплекс, локализуя в плане площадь распространения депрессионной воронки, возникающей из-за отработки месторождения и сопутствующего опережающего водопонижения.

Поэтому использование узла обратной закачки для захоронения формирующихся дренажных вод рудника «Интернациональный», позволили исключить возможное негативное воздействие на окружающую среду и поверхностные воды, которое могло бы возникнуть при выборе другого способа их захоронения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колганов, В. Ф. Горно-геологические особенности коренных месторождений алмазов Якутии / В. Ф. Колганов, А. Н. Акишев, А. В. Дроздов. – Мирный. Мирнинская типография, 2013, 568 с.
2. Гидрогеология СССР. Том XX. Якутская АССР / А.В. Сидоренко [и др.]. – М.: Недра, 1970, 384 с.
3. Геология, гидрогеология и геохимия нефти и газа южного склона Анабарской антеклизы / Е.И. Бодунов [и др.]. – Якутск. ЯФ СО АН СССР, 1986, 176 с.
4. Курчатова, А. Н. Влияние техногенных наледей на засоление литогенной основы городских ландшафтов Якутска / А. Н. Курчатова // Криолитозона и подземные воды Сибири Ч.2. – Якутск. ИМЗ СО РАН, 1996. – С. 95–105.
5. Янников, А. М. Интенсивность и продолжительность движения пластовых вод из малодобитных коллекторов толбачанской свиты / А. М. Янников // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. –2018. – №1. – С. 139–141.
6. Анисимова, Н. П. Методические рекомендации по проведению мерзлотно-гидрогеохимических исследований в комплексе инженерно-строительных изысканий в криолитозоне / Н. П. Анисимова, А. В. Бойцов. – Якутск, ИМЗ СО РАН, 2000. – 52 с.

ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет

Янников Алексей Михайлович, аспирант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Воронежского государственного университета
E-mail: yannikov90@mail.ru
Тел.: +7 (473) 220 89 80

Бочаров Виктор Львович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии
E-mail: gidrogeol@mail.ru
Тел.: +7 (473) 220 89 80

Voronezh State University

Yannikov A. M., postgraduate student of the Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology, Voronezh State University
E-mail: yannikov90@mail.ru
Tel.: +7 (473) 220 89 80

Bocharov V. L., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of the Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology
E-mail: gidrogeol@mail.ru
Tel.: +7 (473) 220 89 80