

УДК 556.388

СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ДРЕНАЖНЫХ РАССОЛОВ, РЕАЛИЗУЕМЫЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АК «АЛРОСА» В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КРИОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

А.М. Янников*¹¹Институт Якутнипроалмаз АК АЛРОСА (ПАО), Мирный, Россия, E-mail: yannikov90@mail.ru

Аннотация

Отработка глубоких горизонтов коренных месторождений алмазов сопровождается водопритокком высокоминерализованных дренажных вод с минерализацией, достигающей 350 г/дм³, что в свою очередь требует разработки технологий для экологически безопасного обращения с ними. В настоящее время на предприятиях АК «АЛРОСА» (ПАО) реализована закачка дренажных вод в недра, для этой цели используются два вида коллекторов: региональных подмерзлотных комплексов и формируемых в толще ММП в процессе закачки в пределах локальных участков интенсивного техногенного воздействия. В представленной статье рассматриваются обозначенные способы закачки, в привязке к криогеологическим условиям конкретного кимберлитового поля. Рассмотрены аспекты и проблемы дальнейшего развития систем закачки, связанные с жизненным циклом обрабатываемых месторождений.

Ключевые слова: Якутская алмазоносная провинция, кимберлитовые трубки, природные рассолы, участки закачки.

METHODS OF DISPOSAL OF DRAINAGE BRINES IMPLEMENTED AT THE ENTERPRISES OF ALROSA DEPENDING ON THE CRYOHYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE KIMBERLITE FIELD

А.М. Yannikov*¹¹Yakutnioproalmaz Institute of AK ALROSA (PJSC), Mirny, Russian Federation, E-mail: yannikov90@mail.ru

Abstract

The development of deep horizons of indigenous diamond deposits is accompanied by the formation of highly mineralized drainage waters with mineralization reaching 350 g/dm³, which in turn requires the development of technologies for environmentally safe handling of them. Currently, drainage water is pumped into the subsoil at ALROSA enterprises, two types of collectors are used for this purpose: regional permafrost complexes and MMP formed in the thickness during injection within local areas of intensive technogenic impact. The article discusses the described injection methods in

530

relation to the cryohydrogeological conditions of a particular kimberlite field. Aspects and problems of further development of injection systems related to the life cycle of the mined deposits are considered.

Key Words: Yakut diamond-bearing province, kimberlite pipes, natural brines, injection sites

Введение

Отработка кимберлитовых трубок Западной Якутии на всю глубину разведанных запасов возможна только при эксплуатации систем закачки формирующихся дренажных рассолов. В зависимости от криогидрогеологических условий конкретного кимберлитового поля, а именно объемов природных рассолов [1-2] поступающих в карьерное или шахтное поле и глубины залегания высокопроницаемых коллекторов, закачка рассолов осуществляется либо в коллектора регионально распространенных подмерзлотных водоносных комплексов, либо в толщу ММП, с формированием в ней природно-техногенных криопэггов. Необходимо отметить, что в зависимости от выбранного способа закачки дренажных вод, конфигурации репрессивных куполов и их площади существенно отличаются.

Процесс откачка-закачка является основообразующим для формирования изучаемых природно-техногенных систем, определяющих гидродинамический режим водоносных горизонтов и комплексов в пределах рассматриваемых кимберлитовых полей. Первые опытные участки были построены в пределах Далдынского и Мирнинского кимберлитовых полей в 80-х годах XX века. Показав свою эффективность, данная технология была не только внедрена и расширена в пределах Далдынского и Мирнинского кимберлитовых полей, но тиражирована на Алакит-Мархинское и Накынское кимберлитовые поля.

В настоящее время на разных стадиях освоения в АК «АЛРОСА» находится тринадцать участков закачки, а т.к. притоки природных рассолов с увеличением глубины отработки, как правило увеличиваются, требуется постоянное развитие созданных систем, а также поиски и разведка дополнительных площадей, пригодных для строительства.

Методы исследований

Выбору участков закачки предшествует комплекс изучения криогидрогеологических условий территории и годы научно-методических исследований [3]. На данном этапе наиболее важным фактором выступают криогидрогеологические условия конкретного кимберлитового поля. Например, наличие в пределах Мирнинского кимберлитового поля высокопроницаемых коллекторов в интервале ичерской свиты на относительно небольшой глубине (500-550 м от дневной поверхности), позволили реализовать систему обратной закачки дренажных вод, т.к. в виду криогидрогеологических особенностей метегеро-ичерский водоносный комплекс дает до 95% от суммарного объема дренажных вод трубок Мир и Интернациональная. Криогидрогеологические условия Далдынского кимберлитового поля, а именно

распространение высокопроницаемых коллекторов, пригодных для обратной закачки только на глубинах более 1200 м от дневной поверхности, предопределили необходимость использования на первоначальном этапе толщи многолетнемерзлых пород для закачки высокоминерализованных вод трубки Удачная.

Поиск и выбор участков, пригодных для закачки дренажных вод, сопряжены с определенными финансовыми затратами, непосредственно связанными со строительными, монтажными и эксплуатационными работами. Поэтому разработке методов выявления перспективных подземных структур с использованием целенаправленного комплекса поисковых признаков придается особое значение.

Для выбора перспективных криогенных и разрывных структур для закачки высокоминерализованных дренажных вод в АК «АЛРОСА» разработан и успешно применен на практике следующий комплекс поисковых критериев:

- тектонический критерий основан на том, что зоны динамического воздействия региональных разрывных нарушений создают высокопроницаемые зоны, позволяющие производить высокодебитную закачку в безнапорном режиме;

- структурный критерий – перспективными для строительства участков закачки, являются как правило неравномерно опущенные грабенообразные структуры;

- геофизический – пригодные для закачки структуры, как правило, формируют отрицательные гравитационные аномалии, линейные аномалии электрического сопротивления, локальные магнитные аномалии линейного и трубчатого типов.

- геоморфологический фактор наиболее важен для участков, где используют толщу ММП, т.к. выбираются участки с ее максимальной мощностью.

Дополнительно используются газодинамический, температурный, гидрогеологический и геохимический критерии. Каждый из перечисленных критериев основан на физических принципах, напрямую или косвенно связанных с фильтрационными и емкостными свойствами криогеологической среды: толщи ММП и подмерзлотных водоносных комплексов.

Результаты и их обсуждения

Рассмотрим выбранные способы закачки применительно к конкретным кимберлитовым полям: Алакит-Мархинскому, Далдынскому, Мирнинскому и Накынскому.

Для месторождений *Алакит-Мархинского кимберлитового поля* трубок Айхал, Заря, Юбилейная и ранее Комсомольская используется два участка закачки Заречный и Ноябрьский. Оба участка используют коллекторы толщи ММП. Из-за криогидрогеологических условий кимберлитового поля в планируемом интервале отработки отсутствуют высокодебитные водоносные комплексы. Например, текущий приток рассолов к шахтному полю Айхал не превышает 200 м³/сут, а на конец отработки не будет превышать 430 м³/сут. Приток рассолов к

карьеру Комсомольский в 2018-2020 гг. не превышал $20 \text{ м}^3/\text{сут}$ (в настоящее время месторождение отработано). Трубки Заря и Юбилейная в настоящее время обрабатываются открытым способом, и не формируют дренажных вод, требующих закачки. В будущем максимальные прогнозные притоки составят до $20 \text{ м}^3/\text{сут}$ для трубки Заря и до $1070 \text{ м}^3/\text{сут}$ для трубки Юбилейная. Относительно невысокие объемы дренажных вод позволяют использовать для закачки толщу ММП. Участок Ноябрьский предполагается использовать в перспективе с 2028 г. для трубок Айхал и Заря (также ранее на нём закачивались рассолы карьера Комсомольский). Участок Заречный строится для закачки дренажных рассолов, которые будут формироваться при отработке трубки Юбилейная. Глубина закачных скважин на участке Заречный составляет 200-250 м; а на участке Ноябрьский – 230 м. Эксплуатация участка закачки Заречный и Ноябрьский, к 2040-2050-х гг. приведёт к образованию межмерзлотных техногенных водоносных горизонтов, объёмом $3,2 \text{ млн. м}^3$ и $5,5 \text{ млн. м}^3$ соответственно, что в дальнейшем обеспечит формирование зон дополнительного питания нижнеордовикского водоносного комплекса, активно дренируемого в настоящее время подземными горными выработками рудника Айхал и карьером Юбилейная (с 2028 года карьером Заря) [4-6].

Для закачки рассолов трубок *Далдынского кимберлитового поля* используются как коллекторы толщи ММП, так и коллекторы нижнекембрийского водоносного комплекса. В период 1985-2022 гг. в толщу ММП, на участках «Октябрьский», «Киенгский», «Левобережный» и «Левобережный – 2» было закачено 45 млн. м^3 дренажных рассолов трубки Удачная. Глубина закачных скважин составляет 260-280 м. Закачка такого объёма рассолов привела к формированию межмерзлотных техногенных горизонтов, приуроченных к перечисленным участкам. Причём в результате растворения льдистой составляющей были сформированы вертикальные зоны массопереноса в ниже залегающий подмерзлотный верхнекембрийский водоносный комплекс. Начиная с 2020 г. начато использование коллекторов нижнекембрийского водоносного комплекса, скважинами глубиной 1700 м. В настоящее время нижнекембрийский водоносный комплекс выработками рудника не вскрыт, поэтому формируется только реперсионный купол растекания, возникший в результате закачки $3,5 \text{ млн. м}^3$ дренажных рассолов трубки Удачная [7].

Использование обоих типов коллекторов связано с высокими притоками природных рассолов к шахтному полю трубки Удачная, в настоящее время составляя до $9\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$. При этом дальнейшее увеличение глубины отработки рудника приведёт к существенному росту притока – прогнозируемый расход на конец 50-х годов XXI века – до $40\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Для закачки дренажных рассолов месторождений *Мирнинского кимберлитового поля* используются коллекторы первого подмерзлотного метегеро-ичерского водоносного комплекса, испытывающего наибольшее техногенное воздействие, из-за отработки месторождений трубок Мир и Интернациональная. Техногенная нагрузка на гидродинамический режим комплекса в

предыдущие периоды тесно связана с этапами отработки трубки Мир. В настоящее время дополнительным, всё более значимым фактором выступает рудник Интернациональный. Пьезометрическая поверхность метегеро-ичерского водоносного комплекса в результате промышленного освоения будет представлять собой две депрессионные воронки от рудников Мир и Интернациональный, на которые накладываются репрессивные купола растекания, формируемые от участков закачки, расположенных в зонах динамического воздействия Восточного и Западного разломов. Процесс обратной закачки сформировал техногенную границу обеспеченного питания, полностью компенсирующую текущую откачку на месторождениях, и, как следствие формирует планово ограниченные депрессионные воронки [8-9]. Всего с 1989-2022 гг. в метегеро-ичерский водоносный комплекс было закачено 340 млн. м³ дренажных вод.

Необходимо отметить, что увеличение глубины отработки месторождений Мирнинского кимберлитового поля не приводит к существенному увеличению притока природных рассолов, т.к. основной вклад в приток остается за метегеро-ичерским водоносным комплексом (не менее 95% от суммарного расхода).

Дренажные воды месторождений *Накынского кимберлитового поля* – трубок Ботубинская и Нюрбинская закачиваются на участке Ботубинский в коллекторы толщи ММП. Глубина закачных скважин составляет 205-210 м [10]. В результате эксплуатации участка также будет сформирован техногенный водоносный горизонт объёмом 1,9 млн. м³, который выступит зоной дополнительного питания для межмерзлотного верхнекембрийского водоносного комплекса, дренируемого карьером трубки Нюрбинская. Необходимо отметить, что месторождения Накынского кимберлитового поля характеризуются наименьшими притоками. Суммарный прогнозный приток природных рассолов к карьерным полям трубок Ботубинская, Нюрбинская и Майская не превысит 250 м³/сут.

Заключение

Для отработки кимберлитовых трубок Айхал, Ботубинская, Зарница, Заря, Интернациональная, Комсомольская, Майская, Мир, Нюрбинская, Удачная и Юбилейная построено 13 участков закачки: 6 из которых используют коллектора региональных подмерзлотных водоносных комплексов, а 7 – толщу ММП.

Выбор способа закачки определяется криогидрогеологическими условиями конкретного кимберлитового поля, прежде всего с объёмом природных рассолов, поступающих к карьерным и шахтным полям, и глубиной залегания пригодных для закачки дренажных рассолов коллекторов.

Многолетняя эксплуатация участков закачки способствовала накоплению необходимого опыта, а также позволила разработать методику поиска структур, пригодных для строительства новых или расширения существующих узлов.

Список литературы

1. Гидрогеология СССР. Том XX. Якутская АССР. М.: Недра, 1970. 384 с.
2. Дроздов А. В., Иост Н. А., Лобанов В. В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2008. 507 с.
3. Алексеев С. В., Алексеева Л.П. Итоги и перспективы захоронения дренажных вод кимберлитовой трубки Удачная в мерзлых породах // Итоги геокриологических исследований в Якутии в XX веке и перспективы их дальнейшего развития. Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2003 С. 67-78
4. Янников А.М. Гидрогеология Алакит-Мархинского кимберлитового поля. Мирный: Изд-во ЗЯНЦ/ЯНА, 2022. 132 с.
5. Янников А.М., Янникова С.А., Овчинникова М.Ю., Корепанов А.Ю. Использование ммп для закачки дренажных вод коренных месторождений алмазов на примере участка «Ноябрьский» // Вестник Пермского государственного университета. Пермь. 2021. №3. С. 284-299.
6. Янников А.М., Зырянов И.В., Янникова С.А. Корепанов А.Ю. Перспективы использования глубокозалегающих водоносных горизонтов для закачки слабоминерализованных вод // Горная промышленность. Москва. 2022. №1. С. 76-81.
7. Янников А.М., Зырянов И.В., Корепанов А.Ю., Стручкова А.С. Динамика и прогноз изменения гидродинамического режима нижнекембрийского водоносного комплекса в пределах Далдынской флексуры // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 9. С. 60-73.
8. Янников А.М. Гидрогеология Мирнинского кимберлитового поля. Мирный: Изд-во ЗЯНЦ/ЯНА, 2021а. 240 с.
9. Янников А.М., Бочаров В.Л. К проблеме экологически безопасного захоронения дренажных вод рудника «Интернациональный» // Вестник ВГУ серия геология. Воронеж. 2019. №4. С. 99-103.
10. Янников А.М., Ильков А.Т. Формирование рассолопоглощающих коллекторов в толще ММП, на примере участка "Ботуобинский" (Республика Саха (Якутия)) // "Геология и недропользование" ЕСОЭН. Москва. 2021. №4. С. 64-73.