

ВЛИЯНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ НА ПРОЕКТИРУЕМЫЕ СИСТЕМЫ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ВОДОПОНИЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ТРУБКИ «ЮБИЛЕЙНАЯ»

А. М. Янников¹, С. А. Янникова¹, А. Ю. Корепанов¹

¹ Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, Республика Саха (Якутия),
Россия, institut-yna@alrosa.ru

Аннотация: В пределах карьерного поля крупнейшего в Западной Якутии коренного месторождения алмазов трубки «Юбилейная» до начала отработки существовала система сообщающихся озер. В процессе строительства карьера озера были спущены и осушены, но несквозные талики озер Проточное и Травянистое по-прежнему оказывают существенное влияние на горно-геологические условия отработки месторождения. Для обеспечения безопасности работ важной задачей является изучение гидрогеологических условий месторождения, это необходимо для строительства системы осушения с целью предотвращения разгрузки таликовых вод на бортах карьера. Для изучения фильтрационных параметров, расчёта основных гидродинамических характеристик, определения инженерно-геологических свойств вмещающих пород в 2018–2019 гг. было проведено бурение опытных скважин, по которым выполнен весь комплекс гидрогеологических исследований. Для изучения структурно-тектонического строения участка была выполнена съёмка и картирование разрывных нарушений в пределах карьерного поля. В результате была получена информация о гидрогеологических и структурно-тектонических условиях в пределах талика озера Травянистое, дана краткая гидрохимическая характеристика природных вод. Рассмотрены аспекты и особенности влияния тектонических нарушений на гидродинамические и ёмкостные параметры коллекторов талика. Выделены блокизоны, отличные по коэффициенту водопроводимости, получены необходимые для проектирования и строительства системы осушения характеристики. Произведён анализ взаимосвязи между тектоническими нарушениями и коэффициентом водопроводимости. Учёт упомянутых факторов позволил эффективно осушить талик в пределах прибортового массива карьера, что существенно повысило физико-механические свойства пород в интервале развития несквозного талика.

Ключевые слова: Сибирская платформа, Алакит-Мархинское кимберлитовое поле, трубка «Юбилейная», несквозные талики, пресные воды, тектонические нарушения, коэффициент водопроводимости, системы осушения.

Для цитирования: Янников А. М., Янникова С. А., Корепанов А. Ю. Влияние тектонических нарушений на проектируемые системы опережающего водопонижения на примере трубки «Юбилейная» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5–2. – С. 174–186. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_174.

Influence of tectonic faults on the projected advanced water reduction systems on the example of the “Yubileynaya” pipe

A. M. Yannikov¹, S. A. Yannikova¹, A. Yu. Korepanov¹

¹ “Yakutniproalmaz” Institute, PJSC “ALROSA”, Mirny, Russia, institut-yna@alrosa.ru

Abstract: Prior to the start of mining, a system of communicating lakes existed within the quarry field of the “Yubileynaya” pipe, the largest primary diamond deposit in Western Yakutia. During the construction of the quarry, the lakes were deflated and drained, however blind taliks of Protochnoe and Travyanistoe lakes still have an impact on the mining and geological conditions of the deposit development. To ensure the safety of further work at the field, one of the main tasks is to study the hydrogeological conditions of the field. This is necessary for the construction of a drainage system to prevent the discharge of talik water on the sides of the quarry. In 2018–2019 pilot wells were drilled, on which the whole complex of hydrogeological studies was carried out. To study the structural and tectonic structure portion was performed survey and mapping of the faults within the pit field. As a result, information was obtained on the hydrogeological and structural-tectonic conditions within the talik of Lake Travyanistoe. Aspects and features of the influence of tectonic disturbances on the hydrodynamic and capacitive parameters of talik reservoirs are considered. The analysis of the relationship between tectonic disturbances and the coefficient of water permeability has been carried out. Taking into account the above factors made it possible to effectively drain the talik within the near-rock mass of the quarry, which significantly increased the physical and mechanical properties of rocks in the interval of development of the blind talik.

Key words: Siberian platform, Alakit-Markhinskoe kimberlite field, Yubileynaya pipe, blind taliks, fresh waters, tectonic faults, water conductivity coefficient, drainage systems.

For citation: Yannikov A. M., Yannikova S. A., Korepanov A. Yu. Influence of tectonic faults on the projected advanced water reduction systems on the example of the “Yubileynaya” pipe. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5–2):174–186. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_174.

Введение

Трубка «Юбилейная» расположена в пределах Алаakit-Мархинского кимберлитового поля, входящего в состав Якутской алмазоносной провинции. Месторождение приурочено к группе субширотных разломов, связанных с палеорифтовой системой, картирующей вдоль верховьев реки Марха [1].

В пределах месторождения до начала его освоения располагалась система сообщающихся озер, а в непосредственной близости — долина реки Марха, являющейся левым притоком реки Вилуй [1]. В процессе строительства карьера озера были спущены и осушены, но подземные воды несквозных таликов озер Протоchnое и Травянистое

до сих пор оказывают существенное влияние на горно-геологические условия отработки месторождения.

Одной из главных задач для обеспечения безопасности на карьере является изучение гидрогеологических условий месторождения, что необходимо для строительства системы осушения и предотвращения разгрузки вод несквозных таликов в бортах карьера.

В связи с этим основной целью данного исследования являлось изучение гидрогеологических и структурно-тектонических условий в пределах талика озера Травянистое для выявления негативных факторов при проходке эксплуатационных скважин и дальнейшего

осушения в пределах прибортового массива карьера.

Для этого были поставлены и выполнены следующие задачи:

- выделение коллекторов в процессе бурения, отбор проб и определение их химического состава;
- съёмка и картирование разрывных нарушений в пределах карьерного поля;
- выделение блоков-зон в пределах талика озера Травянистое, отличных по коэффициенту водопроницаемости;
- корреляция зафиксированных разрывных нарушений и фильтрационных параметров талика озера Травянистое.

Выполнение указанных задач осуществлялось специалистами АК АЛРОСА, с непосредственным участием авторов статьи.

Кимберлитовая трубка «Юбилейная» в дотриасовом эрозионном срезе имеет неправильную изометричную «грушевидную» форму и характеризуется северо-восточным простиранием. Рассматриваемое коренное месторождение алмазов имеет достаточно сложную форму. Непосредственно под перекрывающими породами ее размер составляет 1293 м по длинной оси и 741 м по короткой, а площадь поверхности составляет 56 га. С глубиной начинается неравномерное сужение кимберлитового тела, причём наиболее резким переходом характеризуется западное тело, а наименее — восточное. Глубина изучения данного месторождения в настоящее время составляет 1300 м от дневной поверхности [4, 5].

Из-за того, что кимберлитовая трубка подвергалась интенсивной эрозии в девоне и перми, ее поверхность непосредственно под перекрывающими породами имеет существенные перепады в абсолютных отметках,

составляющие до 44—48 м для северной и северо-восточной части относительно южной и юго-западной. На глубине 300 м от дневной поверхности форма кимберлитового тела изменяется и приобретает штокообразную форму, до этой глубины диатрема характеризуется углами падения 30–60°. В последующем, с глубины порядка 430—450 м от дневной поверхности, соотношение длинной и короткой осей кимберлитового тела позволяет классифицировать ее форму как дайкообразное тело с крутопадающими до 90° контактами [5, 6].

Трубка «Юбилейная» прорывает субгоризонтально залегающие карбонатные и терригенно-карбонатные отложения нижнего палеозоя. С поверхности она была перекрыта толщей нижнемезозойских пород трапповой формации [1].

Вмещающие породы разбиты системами разнонаправленных разрывных нарушений [2,3], оказывающих влияние на горно-геологические условия отрабатываемого месторождения. В рамках представленных исследований рассматривался вопрос о влиянии структурно-тектонического фактора на гидрогеологические условия, в частности на водопроницаемость в пределах несквозных надмерзлотных таликов.

Месторождение отрабатывается открытым способом, на начало 2021 г. глубина отработки превысила 500 м. Проектная глубина отработки месторождения открытым способом — 720 м.

Материалы и методы

Изучение гидрогеологических условий осуществлялось на основе полевых, лабораторных и теоретических исследований. Основными полевыми методами, в выполнении которых принимали участие авторы статьи, являлись эксперименты:

– проведение натуральных экспериментов по скважинам для оценки водообильности;

– изучение литологических разностей осадочных пород полевыми и лабораторными методами;

– оценка фильтрационных параметров с использованием опытных откачек, режимных наблюдений по сети скважин;

– отбор проб воды, керны на разные виды анализов при бурении опытных скважин;

– изучение разрывных нарушений, проявлений малоамплитудной тектоники, их картирование, вынесение на планы, выполняемое непосредственно в карьере «Юбилейный»;

– режимные наблюдения за расходами вод по сети скважин;

– гидрогеологическое сопровождение работ.

При анализе полученных результатов широко использовались методы гидродинамики и гидравлики водонасыщенных сред в условиях неустановившегося и квазистационарного режимов [7]. В ходе решения поставленных задач использовались общепринятые методики проведения гидрогеологических, геофизических, газовых и других исследований [8–10].

Лабораторные работы по химическому анализу подземных вод, растворенных и свободных пластовых газов выполнялись в институтах Якутнипроалмаз и ИЗК СО РАН [2,3] с использованием количественных и полуколичественных методов.

Влияние выявленных тектонических нарушений на толщину вмещающих пород определялось при помощи планового изменения параметра водопроницаемости, который определяли при анализе гидродинамического режима и проницаемости пластов-коллекторов нижнеордовикского и верхнекембрийского водоносных комплексов.

Теоретические исследования сводились к аналитическому решению задач по определению влияния выделенных природных факторов на фильтрационные свойства выделенных коллекторов, определение гидродинамических параметров осуществлялась графоаналитическими и гидродинамическими методами.

Результаты и их обсуждение

1. Характеристика структурно-тектонического строения карьерного поля.

Структурно-тектоническое строение шахтного поля трубки «Юбилейная» было изучено по результатам глубокого бурения гидрогеологических, структурных, нефтеразведочных скважин, структурных поисково-разведочных скважин в сочетании с комплексом ГИС, наземными геофизическими исследованиями, а также инструментальными замерами элементов залегания основных и оперяющих тектонических нарушений, выделенных в пределах обрабатываемого карьера (рис. 1).

В результате анализа как вновь проведенных специалистами АК АЛРОСА работ, так и результатов выполненной ранее специалистами ИЗК СО РАН по договору с АК АЛРОСА ПАО структурно-тектонической съемки представленные тектонические нарушения были разделены авторами на три группы:

– первая группа субширотного простирания, связанная с локализацией кимберлитовой трубки Юбилейная;

– вторая группа дизъюнктивов север-северо-восточного простирания, являющихся разноранговыми нарушениями, указывающими на наличие этапа сжатия в широтном направлении;

– третья группа разнонаправленных разломов, являющихся оперяющими к первым двум группам.

Приведенное разделение выделенных разрывных нарушений в целом



Рис. 1. Тектонические нарушения в пределах карьерного поля трубки «Юбилейная» (по материалам Айхальского ГОКа и съёмки ИЗК СО РАН)

Fig. 1. Tectonic disturbances within the open pit field of the pipe “Yubileinaya” (based on materials from the Aikhal GOK and shooting IZK SB RAS)

соответствует выводам, сделанным специалистами ИЗК СО РАН.

Разрывные нарушения, несомненно, оказывают влияние на фильтрационные свойства пород в плане и разрезе [12, 13]. Это подтверждается не только исследованиями автора, но и результатами ранее проделанных работ [10, 14–17]. Влияние тектонических процессов двояко. С одной стороны, трещиноватость увеличивает фильтрационно-ёмкостные свойства пород, а с другой — залечивание дизъюнктивов приводит к возрастанию экранирующих поверхностей и зон вторичной минерализации [18, 19]. Учёт данных факторов был реализован в ходе проведения исследований.

Непосредственно в околотрубном пространстве месторождения было выделено несколько различных блоков-зон. Для выделения блоков-зон были проведены расчёты коэффициента проводимости по сети скважин, пробуренных на разных стадиях разведки. Необходимо отметить, что наиболее проницаемые блоки были приурочены к северо-восточному флангу месторождения, в зоне динамического влияния Северо-Восточного кимберлит-контролирующего разлома. Повышенные коэффициенты водопроводимости, по нашему мнению, обусловлены тем, что нарушения данных направлений представляют собой сдвиговые структуры, зоны которых состоят из серии

кулис протяженных сколовых трещин, представленных зонами дробления. Все это приводило к формированию дополнительной емкости карбонатных пластов-коллекторов за счёт повышения открытой трещиноватости.

2. Характеристика талика озера Травянистое.

Начальные параметры талика Травянистого определены по результатам гидрогеологических исследований, проведенных в 1976–1978 гг. северной экспедицией МГУ. Площадь талика составляет 240 тыс.м². Талик развит в южной части карьера «Юбилейный». Мощность талика, определённая при помощи бурения и методов ГИС, ~ 90–156 м. Водовмещающими породами являются верхнепалеозойские (пермь-карбон) терригенные отложения и трещиноватые долериты. Подошвой талика являлись мерзлые известняки и доломиты силура.

Таликовые воды пресные (минерализация 300–800 мг/л), сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевые. Характеризуются повышенным содержанием железа (от 0,15 до 1,5 мг/л). Работы по осушению талика непрерывно ведутся с 1998 г. Общий объём откаченных вод за период 1998–2020 гг. составляет порядка 1,5 млн м³.

Для изучения состояния талика в результате интенсивного техногенного воздействия в 2019 г. к пробуренным ранее скважинам №№ 1ИГ, 90, 91 и 92 была пробурена опытная скважина 1т. Для оценки изменения емкостных параметров таликовой зоны озера Травянистое по опытной скважине был проведен комплекс буровых, гидрогеологических, опробовательских и геофизических работ. Геологический разрез скважины №1т представлен глинисто-карбонатными отложениями силура и карбона и интрузиями долеритов. Основные геофизические харак-

теристики пород в зависимости от их стратиграфической принадлежности представлены в табл. 1.

В результате выполненного комплекса исследований и работ было установлено:

- глубина талика в точке заложения скважины №1т составляет 155,9 м;

- все породы в интервале талика являются проницаемыми. Общая пористость разреза от 10 до 18%;

- в интервалах 55,0–76,0, 122,0–131,2, 134,8–142,5, 152,5–155,9 м породы характеризуются наличием систем открытых каверн по причине гидрогенного растепления разреза.

Опытно-фильтрационные работы были выполнены кустовым способом. Скважина №1т возмущающая, а скважины №№90, 91 и 92 наблюдательные. Результаты проведенных опытно-фильтрационных работ приведены в табл. 2.

Полученные коэффициенты фильтрации в 3 раза ниже полученных ранее по скважине №92 (2,7 м/сут — скважина 1т; 8,5–9,0 м/сут — скважина №92). Указанные различия связаны с высокой степенью сработанности талика на момент проведения работ (март-май). При откачке были задействованы коллекторы приподошвенной части (в интервале 140–156 м). Вышезалегающие породы характеризуются более высокими фильтрационными параметрами, до глубины 50 м вычисленный коэффициент фильтрации составлял до 9 м/сут, что подтвердилось при повторных исследованиях, выполненных по скважине №92 в 2019 г. В интервале 100–150 м были получены коэффициенты фильтрации ~ 3,57–3,66 м/сут.

Необходимо отметить, что по скважине №1т в толще многолетнемерзлых пород (ММП) были зафиксированы интервалы, которые могут выступать потенциальными коллекторами,

Таблица 1

Литолого-стратиграфическая принадлежность пород (по скважине №1т)
Lithological and stratigraphic rocks belonging (for well 1t)

№ п/п	Интервал, м	Описание
1	0,3–2,4	Четвертичные отложения
2	2,4–10,0	Песчаники на глинистом цементе (C_{2-3ah})
3	10,0–14,8	Долериты в интервалах 11,0–11,8 и 12,6–13,0 м – осадочные породы
4	14,8–18,0	Песчаники (C_{2-3ah})
5	18,0–22,6	Алевролит углисто-глинистый (C_{2-3ah})
6	22,6–26,7	Песчаники на глинистом цементе (C_{2-3ah})
7	26,7–32,7	Песчаник с галькой (C_{2-3ah})
8	32,7–40,7	Песчаники на глинистом цементе (C_{2-3ah})
9	40,7–49,3	Пласт 5 – 4 башенной свиты ($S_1bš$) (плотные известняки).
10	49,0–94,0	Долериты, в интервале 61,8–63,3 м – ксенолит осадочной породы
11	94,0–95,5	Пласт 5 – 4 башенной свиты ($S_1bš$) (плотные известняки)
12	95,5–99,6	Долериты
13	99,6–113,5	Пласт 5 – 4 башенной свиты ($S_1bš$) (плотные известняки)
14	113,5–142,8	Пласт 3 – 1 байтахской свиты (S_1bt) (глинистые известняки, мергели)
15	142,8–151,4	Пласт 1/1 кылахской свиты (O_{2-3kl}) (доломиты)
16	151,4–162,9	Пласт 1/2 кылахской свиты (O_{2-3kl}) (мергели)
17	162,9–170,1	Пласт 1/3 кылахской свиты (O_{2-3kl})
18	170,1–177,9	Пласт 1/4 кылахской свиты (O_{2-3kl}) (мергели и доломиты)
19	177,9–185,5	Пласт 1/5 кылахской свиты (O_{2-3kl}) (мергели)
20	185,5–196,7	Пласт 2 сытыканской свиты (O_2st) (известняки, доломиты, мергели, песчанистые известняки)
21	196,7–198,0	Пласт 3 сохсолохской свиты (O_1sh) (доломиты, глинисто-алевритовые и песчанистые доломиты)

Таблица 2

Результаты опытно-фильтрационных работ (по скважине № 1 т)
Results of experimental filtration work (for well 1 t)

№ п/п	Показатели	Полученные результаты		
		Откачка	Восстановление	Среднее значение
1	Общая продолжительность откачки	700 ч		
2	Продолжительность восстановления	140 ч		
3	Дебит откачки, м ³ /час	3,14		
4	Коэффициент фильтрации, м/сут	2,76	2,57	2,67
5	Коэффициент водопроницаемости (КМ), м ² /сут	15,9	13,3	14,6
6	Коэффициент уводнепроницаемости (а), м ² /сут	1,25×10 ⁴	2,15×10 ⁴	1,7×10 ⁴

но в настоящее время они заполнены жильным льдом (табл. 3).

3. Плановая неоднородность фильтрационных параметров талика озера Травянистое.

До проведения направленных исследований, результаты которых представлены в данной статье, превалировало мнение, что талик озера Травянистое характеризуется незначительными изменениями фильтрационных характеристик по площади.

Проведенные исследования убедительно доказали существование отдельных блоков-зон, различных по параметру водопроницаемости (табл. 4).

Изучение гидродинамического режима талика и его фильтрационных свойств выполнялось для разработки схемы опережающего водопонижения. На разных этапах исследований в рамках площади талика было пробурено порядка 10 скважин. После выполнения

кустовых и одиночных опытно-фильтрационных работ (в 2018–2019 гг.) был выявлен факт неоднородности фильтрационных свойств пород талика. Необходимо отметить, что данный факт не отмечался ранее (на стадии детальной разведки месторождения) [4]. По параметрам водопроницаемости и коэффициенту фильтрации талик разделялся на две зоны: западную и восточную (рис. 2).

Основные гидродинамические параметры для западной зоны превышали соответствующие параметры, полученные по восточной зоне, от 5 до 30 раз (см. табл. 4). Также при выполнении кустовых откачек было зафиксировано взаимное длительное отсутствие каких-либо изменений в уровненом режиме у скважин, находящихся в разных блоках-зонах, т.е. реакция наблюдательных скважин, находящихся в восточной зоне, на проведение откачки из сква-

Таблица 3

Интервалы пластов коллекторов в толще ММП по скважине № 1т (по ГИС)
Intervals of reservoirs in permafrost strata along well no. 1t (by GIS)

№ пласта-коллектора	Интервал залегания коллектора, от–до, м	Мощность, м	K _{пор} , %, по НГК
1	167,6–168,6	1,0	7,4
2	170,1–171,0	0,9	8,5
3	177,0–177,7	0,7	10,3
4	186,6–187,8	1,2	8,2
5	195,6–196,2	0,6	8,1
6	196,4–197,1	0,7	8,6

Таблица 4

Изменение коэффициента водопроницаемости по опытным скважинам
Change in the coefficient of bed transmissibility for test wells

№ п/п	№ скважины	Водопроницаемость, м ² /сут	Блок-зона
1	90	3,2	восточная
2	91	2,7	восточная
3	92	в инт-ле 0,0–50 м = 60	западная
		в инт-ле 50–150 м = 15,7	
4	1т	14,6	западная
5	1ИГ	0,5	восточная

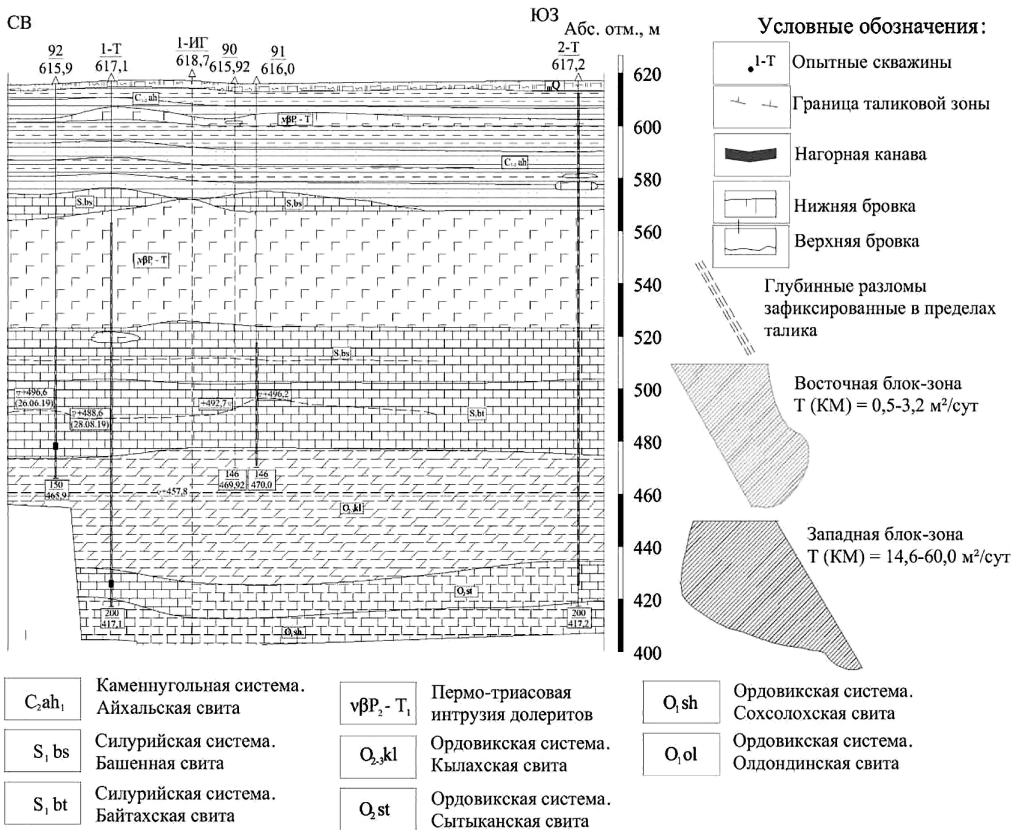
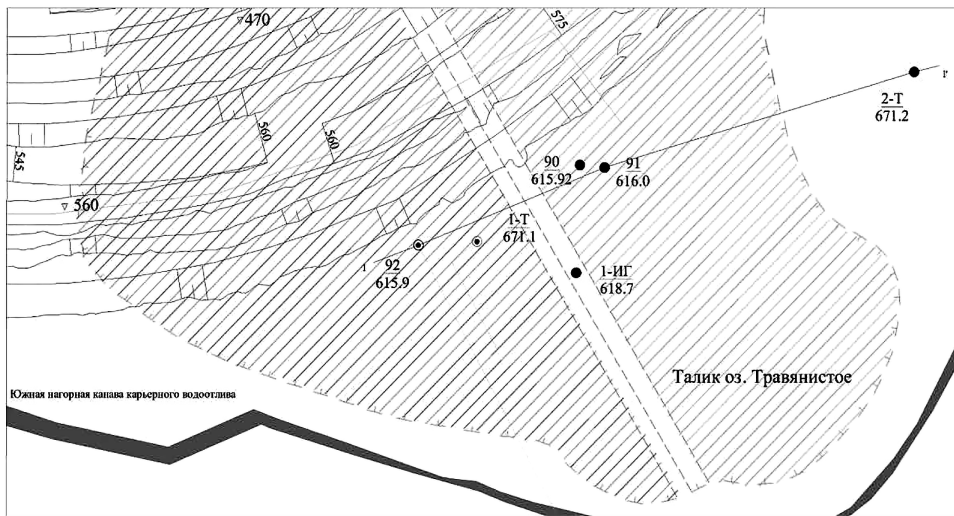


Рис. 2. Геолого-гидрогеологический разрез и схема планового расположения скважин относительно карьерного поля
 Fig. 2. Geological and hydrogeological section and the scheme of the planned location of wells relative to the quarry field

жин, находящихся в западной зоне, отмечалась на 3–5-е сутки, и наоборот.

После совмещения и соотнесения планового расположения таликовой зоны, пробуренных скважин и закартированных глубинных разломов (рис. 2) авторами было отмечено, что выявленные в ходе гидрогеологических исследований зоны полностью коррелировались с глубинным разломом 2-го порядка (относительно основного кимберлит-контролирующего разлома), который пересекал данный талик с севера на юг. В ходе гидрогеологических исследований выявлен «экранирующий» эффект, формирование которого обусловлено зафиксированным разломом, кроме того, в процессе бурения и последующих опытно-фильтрационных работ подтверждено залечивание открытых трещин.

Столь существенные отличия по параметру проводимости, выявленные в процессе проведения исследований, позволили оптимизировать систему опережающего водопонижения и расположить эксплуатационные скважины в пределах наиболее проницаемой западной зоны, тем самым отказавшись от равномерного распределения дренажных скважин. В результате была обеспечена большая производительность и, как следствие, более эффективный перехват подземных вод в зоне несквозного талика.

Выводы

В результате проведенных работ по гидрогеологическому и структурно-тектоническому изучению условий в пределах талика озера Травянистое выявлена плановая неоднородность в распределении параметра водопроницаемости, которая, на наш взгляд, определяется наличием разрывного нарушения, оказавшего влияние на фильтрационные свойства пород, что в свою очередь указывает на влия-

ние структурно-тектонического фактора при формировании гидрогеологических условий месторождения.

Наиболее проницаемые блоки приурочены к северо-восточному флангу месторождения «Юбилейное» в зоне динамического влияния Северо-Восточного кимберлит-контролирующего разлома. Повышенные коэффициенты водопроницаемости, по всей видимости, обусловлены тем, что нарушения данных направлений представляют собой сдвиговые структуры, зоны которых состоят из серии кулис протяженных сколовых трещин, представленных зонами дробления.

Опережающие тектонические нарушения сбросового и несбросового типа, соответствующие узлам разломных структур, привели к формированию линейных зон в пределах талика озера Травянистое, мощностью до 20 м, влияющих на фильтрационные параметры пород, подтвержденные проведенными опытно-фильтрационными работами. Таким образом, проведенные исследования убедительно доказали существование в пределах талика отдельных блоков-зон, различных по параметру водопроницаемости.

Выявленная неоднородность фильтрационных свойств была учтена при строительстве системы водопонижения в пределах талика, в части сооружения эксплуатационных скважин, а именно определения количества скважин, их конструкции, планового местоположения и насосного оборудования. Результатом проведенных исследований явилось повышение эффективности осушения талика и прекращение разгрузки таликовых вод в пределах южного борта карьера.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрогеология СССР. Том XX. Якутская АССР. — М.: Недра, 1970. — 384 с.
2. *Гладков А. С., Борняков С. А., Манаков А. В., Матросов В. А.* Тектонофизические исследования при алмазопромысловых работах. Методическое пособие. — М.: Научный мир, 2008. — 175 с.
3. *Гладков А. С., Маковчук И. В., Лунина О. В., Борняков С. А., Потехина И. А.* Трехмерная модель разломно-блоковой структуры участка локализации кимберлитовой трубки «Юбилейная» (Россия) // Геология рудных месторождений. — 2010. — Т. 52 — №3. — С. 260–279.
4. *Климовский И. В., Готовцев С. П.* Криолитозона Якутской алмазоносной провинции. — Новосибирск: Наука, 1994. — 167 с.
5. *Дроздов А. В., Иост Н. А., Лобанов В. В.* Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. — Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2008. — 507 с.
6. *Колганов В. Ф., Акишев А. Н., Дроздов А. В.* Горно-геологические особенности коренных месторождений алмазов Якутии. — LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. — 576 с.
7. *Bense V. F., Shipton Z. K., Kremer Y., Kampman N.* Fault zone hydrogeology: introduction to the special issue // *Geofluids*. 2016, vol. 16, no. 4, pp. 655–657. DOI: 10.1111/gfl.12205.
8. *Климентов П. П., Кононов В. М.* Методика гидрогеологических исследований. — М.: Высшая школа, 1978. — 408 с.
9. *Dubiński J.* Sustainable development of mining mineral resources // *J. Sustain. Min.* 2013, vol. 12, no. 1, pp. 1–6.
10. *Vokhmin S. A., Trebush Yu. P., Kurchin G. S., Mayorov E. S., Zajtseva K. V.* Peculiarities in setting norms of extraction in underground mining of diamond ore // *Universal Journal of Engineering Science*. 2014, vol. 2, pp. 39–42. DOI: 10.13189/ujes.2014.020201.
11. *Bayati M., Hamidi J. K.* A case study on TBM tunnelling in fault zones and lessons learned from ground improvement // *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2017, vol. 63, pp. 162–170. DOI: 10.1016/j.tust.2016.12.006.
12. *Mundy E. M., Dascher-Cousineau K., Gleeson T., Rowe C. D., Allen D. M.* Complexity of hydrogeologic regime around an ancient low-angle thrust fault revealed by multidisciplinary field study // *Geofluids*. 2016, vol. 16, no. 4, pp. 673–687. DOI: 10.1111/gfl.12200.
13. *Deal P. T., Sabatini D. A.* Utilizing indicator kriging to identify suitable zones for manual drilling in weathered crystalline basement aquifers // *Groundwater for Sustainable Development*. 2020, vol. 11, 100402. DOI:10.1016/j.gsd.2020.100402.
14. *Акишев А. Н., Зырянов И. В., Шубин Г. В., Тарасов П. И., Журавлев А. Г.* Техно-технологический комплекс для доработки запасов на глубинных горизонтах алмазородных карьеров // *Горный журнал*. — 2012. — № 12. — С. 39–43.
15. *Янников А. М., Трифонов Н. С., Лепокурова О. Е.* Влияние разрывных нарушений на обводнение и газоносность глубоких горизонтов трубки «Айхал» (Республика Саха (Якутия)) // *Вестник Воронежского государственного университета*. Сер.: Геология. — 2021.— № 1. — С. 104–113. DOI: 10.17308/geology.2021.1/3342.
16. *Янников А. М.* Газодинамическая характеристика коллекторов во внешнем контуре месторождения «трубка Интернациональная» // *Вестник Воронежского государственного университета*. Сер.: Геология. — 2018. — №4. — С. 98–101. DOI: 10.17308/geology.2018.4/1672.
17. *Айнбиндер И. И., Пацкевич П. Г., Красюкова Е. В.* Обоснование параметров опасных зон при комбинированной разработке кимберлитовых месторождений Якутии // *Известия Тульского государственного университета*. Науки о Земле. — 2019. — № 3. — С. 48–60.

18. Jelsma H., Barnett W., Richards S., Lister G., Tectonic setting of kimberlites // *Lithos*. 2009, vol. 112, pp.155–165. DOI: 10.1016/j.lithos.2009.06.030.
19. Kim Y.-S., Peacock D. C. P., Sanderson D. J. Fault damage zones // *Journal of Structural Geology*. 2004, no. 26, pp. 503–517. **IVAS**

REFERENCES

1. *Gidrogeologiya SSSR. Tom XX. Yakutskaya ASSR* [Hydrogeology of the USSR. Vol. XX. Yakut ASSR]. Moscow, Nedra publ., 1970, 384 p. [In Russ].
2. Gladkov A. S., Borneyakov S. A., Manakov A. V., Matrosov V. A. Tectonophysical studies in diamond prospecting. Methodical manual. Moscow: Scientific world, 2008, 175 p. [In Russ].
3. Gladkov A. S., Makovchuk I. V., Lunina O. V., Borneyakov S. A., Potekhina I. A. Three-dimensional model of the fault-block structure of the localization site of the kimberlite pipe Jubilee (Russia). *Geology of ore deposits*. 2010, vol. 52, no. 3, pp. 260–279. [In Russ].
4. Klimovskii I. V., Gotovtsev S. P. *Kriolitizona Yakutskoi almazonosnoi provintsii* [Cryolithozone of the Yakut diamondiferous province]. Novosibirsk, Nauka publ., 1994, 167 p. [In Russ].
5. Drozdov A. V., Iost N. A., Lobanov V. V. *Kriogidrogeologiya almaznykh mestorozhdenii Zapadnoi Yakutii* [Cryohydrogeology of diamond deposits in Western Yakutia]. Irkutsk, IGTU publ., 2008, 507 p. [In Russ].
6. Kolganov V. F., Akishev A. N., Drozdov A. V. *Gorno-geologicheskie osobennosti korenykh mestorozhdenii almazov Yakutii* [Mining and geological features of primary diamond deposits in Yakutia]. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015, 576 p. [In Russ].
7. Bense V. F., Shipton Z. K., Kremer Y., Kampman N. Fault zone hydrogeology: introduction to the special issue. *Geofluids*. 2016, Vol. 16, no. 4, pp. 655–657. DOI: 10.1111/gfl.12205
8. Klimentov P. P., Kononov V. M. *Metodika gidrogeologicheskikh issledovaniy* [Methods of hydrogeological research]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1978, 408 p. [In Russ].
9. Dubihski J. Sustainable development of mining mineral resources. *J. Sustain. Min.* 2013, vol. 12, no. 1, pp. 1–6.
10. Vokhmin S. A., Trebush Yu. P., Kurchin G. S., Mayorov E. S., Zajtseva K. V. Peculiarities in setting norms of extraction in underground mining of diamond ore. *Universal Journal of Engineering Science*. 2014, vol. 2, pp. 39–42. DOI: 10.13189/ujes.2014.020201.
11. Bayati M., Hamidi J. K. A case study on TBM tunnelling in fault zones and lessons learned from ground improvement. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2017, vol. 63, pp. 162–170. DOI: 10.1016/j.tust.2016.12.006.
12. Mundy E. M., Dascher-Cousineau K., Gleeson T., Rowe C. D., Allen D. M. Complexity of hydrogeologic regime around an ancient low-angle thrust fault revealed by multidisciplinary field study. *Geofluids*. 2016, vol. 16, no. 4, pp. 673–687. DOI: 10.1111/gfl.12200.
13. Deal P. T., Sabatini D. A. Utilizing indicator kriging to identify suitable zones for manual drilling in weathered crystalline basement aquifers. *Groundwater for Sustainable Development*. 2020, vol. 11, 100402. DOI:10.1016/j.gsd.2020.100402.
14. Akishev A. N., Zyryanov I. V., Shubin G. V., Tarasov P. I., Zhuravlev A. G. Technical and technological complex for reworking reserves at deep horizons of diamond-ore quarries. *Gornyi zhurnal*. 2012, no. 12, pp. 39–43. [In Russ].
15. Yannikov A. M., Trifonov N. S., Lepokurova O. E. Influence of discontinuous disturbances on watering and gas content of deep horizons of the Aikhal pipe (Republic of

Sakha (Yakutia)). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya*. 2021, no. 1, pp. 104–113. [In Russ] DOI: 10.17308/geology.2021.1/3342.

16. Yannikov A. M. Gas-dynamic characteristics of reservoirs in the outer contour of the “International pipe” field. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya*. 2018, no. 4, pp. 98–101. [In Russ] DOI: 10.17308/geology.2018.4/1672.

17. Ainbinder I. I., Patskevich P. G., Krasnyukova E. V. Substantiation of dangerous area parameters in the combined development of kimberlite deposits of Yakutia. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2019, no.3, pp. 48–60. [In Russ]

18. Jelsma H., Barnett W., Richards S., Lister G. Tectonic setting of kimberlites. *Lithos*. 2009, vol. 112, pp.155–165. DOI: 10.1016/j.lithos.2009.06.030.

19. Kim Y.-S. Peacock D. C.P., Sanderson D. J. Fault damage zones. *Journal of Structural Geology*. 2004, no. 26, pp. 503–517.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Янников Алексей Михайлович*¹ — канд. геол.-минерал. наук, заведующий лабораторией горно-геологических проблем разработки месторождений, <http://orcid.org/0000-0002-2169-123X>, yannikov90@mail.ru;

*Корепанов Алексей Юрьевич*¹ — заведующий сектором гидрогеологических исследований лаборатории горно-геологических проблем разработки месторождений, <https://orcid.org/0000-0002-3593-2524>, korepanovayu@alrosa.ru;

*Янникова Светлана Александровна*¹ — ведущий инженер лаборатории горно-геологических проблем разработки месторождений, <https://orcid.org/0000-0001-7297-0725>, yannikovasa@yandex.ru;

¹ Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО), 678174, г. Мирный, ул. Ленина, 39, Россия.

Для контактов: *Янников Алексей Михайлович*, e-mail: yannikov90@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Yannikov A. M.*¹, Cand. Sci. (Geol. Mineral.), head of the laboratory of mining and geological problems of field development, <http://orcid.org/0000-0002-2169-123X>, yannikov90@mail.ru;

*Korepanov A. Yu.*¹, head of the hydrogeological research sector of the laboratory of mining and geological problems of field development, <https://orcid.org/0000-0002-3593-2524>, korepanovayu@alrosa.ru;

*Yannikova S. A.*¹, lead engineer of the laboratory of mining and geological problems of field development, <https://orcid.org/0000-0001-7297-0725>, yannikovasa@yandex.ru;

¹ “Yakutnioproalmaz” Institute, PJSC “ALROSA”, 39 Lenina St., 678174 Mirny, Russia.

Corresponding author: *Yannikov A. M.*, e-mail: yannikov90@mail.ru

Получена редакцией 01.10.2021; получена после рецензии 04.04.2022; принята к печати 10.04.2022.

Received by the editors 01.10.2021; received after the review 04.04.2022; accepted for printing 10.04.2022.

