

PUBLIC JOINT STOCK COMPANY «ALROSA»

«Yakutniproalmaz» Institute

ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

West Yakutsk Scientific Center



A. M. YANNIKOV

**HYDROGEOLOGY
OF THE DALDYN
KIMBERLITE FIELD
REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)**

Edited by

D. Sc. A. V. TOLSTOV

Mirny



PJSC «ALROSA»

2023

АКЦИОНЕРНАЯ КОМПАНИЯ «АЛРОСА» (ПАО)
Институт «Якутнипроалмаз»
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)
Западно-Якутский научный центр



А. М. ЯННИКОВ

**ГИДРОГЕОЛОГИЯ
ДАЛДЫНСКОГО
КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ
РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)**

Научный редактор
д-р геол.-минерал. наук, акад. АН РС (Я)
А. В. ТОЛСТОВ

Мирный

АЛРОСА
АК «АЛРОСА» (ПАО)

2023

УДК 556.3:553.81
ББК 26.35
Я633

Рецензенты

*д-р геол.-минерал. наук В. Л. Бочаров, канд. техн. наук Ю. М. Зинюков
д-р геол.-минерал. наук В. В. Шепелёв, канд. геол.-минерал. наук Н. А. Павлова*

ЯННИКОВ А. М.

Гидрогеология Далдынского кимберлитового поля : Республика Саха (Якутия) / А. М. Янников. – Мирный : АЛРОСА, 2023. – 305 с.

Монография является обобщающей публикацией многолетних исследований, в которой детально рассмотрены гидрогеологические условия как всего Далдынского кимберлитового поля, так и отдельных участков закачки и шахтного поля главного месторождения – трубки «Удачная». Представленный материал в основном посвящён характеристике водоносных комплексов и горизонтов, непосредственно влияющих на отработку коренных месторождений алмазов изучаемой территории. Детальное рассмотрение влияния различных горно-геологических факторов позволяет раскрыть наиболее значимые моменты гидрогеологических наблюдений, выполнить корреляцию и выявить закономерности распределения гидродинамических параметров. В монографии выполнена стратификация и разделение всех водоносных комплексов, влияющих на условия эксплуатации рудника «Удачный» и карьера «Зарница». Непосредственно сами карьерные поля рассмотрены как криогидрогеологические микроструктуры, характеризующиеся отличными гидродинамическими и газодинамическими параметрами. Детально рассмотрено влияние разрывных нарушений на формирование гидрогеологических условий отдельных участков и на выделение блоков-зон в рамках карьерных и шахтного полей месторождений. Результаты исследований будут интересны, в первую очередь, специалистам-производственникам и работникам АК «АЛРОСА», её дочерних подразделений, а также другим недропользователям, осуществляющим свою производственную деятельность в пределах территории исследований. Но отдельно стоит отметить, что имеющаяся в монографии информация будет интересна и научным работникам, сфера интересов которых относится к коренным месторождениям алмазов, криолитозоне, насыщенным и ненасыщенным рассолам, в виду большого количества вновь полученного, проанализированного и впервые публикуемого материала.
ISBN 978-5-6041056-8-9

YANNIKOV A. M.

Hydrogeology of the Daldyn kimberlite field : Republic of Sakha (Yakutia) / A. M. Yannikov. – Mirny : ALROSA, 2023. – 305 p.

The monograph is a generalizing publication of many years of research, in which the hydrogeological conditions of both the entire Daldyn kimberlite field and individual injection sites and the mine field of the main deposit, the Udachnaya pipe, are considered in detail. The presented material is mainly devoted to the characteristics of water-bearing complexes and aquifers that directly affect the development of the indigenous diamond deposits of the studied territory. A detailed examination of the influence of various mining and geological factors makes it possible to reveal the most significant moments of hydrogeological observations, perform correlation and identify patterns of distribution of hydrodynamic parameters. In the monograph, stratification and separation of all water-bearing complexes affecting the operating conditions of the Udachny mine and the Zarnitsa quarry are carried out. The quarry fields themselves are considered as cryohydrogeological microstructures characterized by excellent hydrodynamic and gas dynamic parameters. The influence of faults on the formation of hydrogeological conditions of individual sites and on the allocation of block zones within the quarry and mine fields of deposits is considered in detail. The results of the research will be of interest, first of all, to specialists and employees of ALROSA, its subsidiaries, as well as other subsoil users carrying out their production activities within the research area. But it is worth noting separately that the information available in the monograph will also be of interest to researchers whose sphere of interest relates to indigenous diamond deposits, cryolithic zone, saturated and unsaturated brines, in view of the large amount of newly obtained, analyzed and published material for the first time.

УДК 556.3:553.81
ББК 26.35

ISBN 978-5-6041056-8-9

© АК «АЛРОСА» (ПАО), 2023
© Янников А. М., 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	8
1.1 Состояние изученности проблемы.....	8
1.2 Методы исследований.....	9
2. ГЕОЛОГО-КРИОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДАЛДЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ.....	11
2.1. КРИОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОКТЯБРЬСКОГО РАЗЛОМА В ПРЕДЕЛАХ УЧАСТКА «КИЕНГСКИЙ».....	30
2.2. КРИОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПРЕДЕЛАХ УЧАСТКА «ЛЕВОБЕРЕЖНЫЙ».....	53
2.3. КРИОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПРЕДЕЛАХ УЧАСТКА «ЛЕВОБЕРЕЖНЫЙ-2».....	76
2.4. КРИОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УЧАСТКОВ ЗАКАЧКИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ НИЖНЕКЕМБРИЙСКИЙ ВОДОНОСНЫЙ КОМПЛЕКС 95	
3. ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРЬЕРНОГО ПОЛЯ ТРУБКИ «УДАЧНАЯ».....	115
3.1 СТРАТИГРАФИЯ.....	117
3.2 ТЕКТОНИКА.....	123
3.3 МАГМАТИЗМ.....	129
3.4. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ШАХТНОГО ПОЛЯ ТРУБКИ «УДАЧНАЯ».....	133
3.4.1. Гидрогеологическая характеристика среднекембрийского водоносного комплекса.....	134
3.4.2. Гидрогеологическая характеристика нижнекембрийского водоносного комплекса.....	159
3.4.3. Гидрогеологическая характеристика обводнённых зон кимберлитов.....	164
3.5. УГЛЕВОДОРОДНЫЕ ГАЗЫ В ОТЛОЖЕНИЯХ ШАХТНОГО ПОЛЯ ТРУБКИ «УДАЧНАЯ».....	171

3.6. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ШАХТНОГО ПОЛЯ ТРУБКИ «УДАЧНАЯ».....	183
3.6.1. Инженерно-геологическая характеристика пород известняково-доломитовой толщи (Є ₂ id)	183
3.6.2. Инженерно-геологическая характеристика пород удачинской свиты (Є ₁₋₂ ud). 203	
3.6.3. Инженерно-геологическая характеристика кимберлитов трубки «Удачная»	221
4. ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРЬЕРНОГО ПОЛЯ ТРУБКИ «ЗАРНИЦА».....	243
5. ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОГО ТАЛИКА ГТС РЕКИ СЫТЫКАН.....	255
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	276
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	277

ВВЕДЕНИЕ

Целенаправленные исследования гидрогеологических условий коренных месторождений алмазов Далдынского кимберлитового поля были начаты в первой половине 60-х годов XX века. Пионерные работы выполнялись сотрудниками Амакинской ГРЭ, Институтом мерзлотоведения АН СССР, МГУ и др. В ходе этих исследований были охарактеризованы основные аспекты криогидрогеологического строения пород верхнего и среднего кембрия до глубины 300–500 м от дневной поверхности.

Последующая добыча алмазов потребовала планомерного изучения выявленных еще на первой стадии изучения насыщенных подмерзлотных рассолов и проведения гидрогеологической характеристики вмещающих пород месторождений трубок «Зарница» и «Удачная». Исследования были продолжены многими исследователями: Пиннекер Е.В., Алексеевым С.В., Алексеевой Л.П., Дроздовым А.В., Лобановым В.В., Иост Н.А. и др. В результате этих фундаментальных исследований были охарактеризованы криогидрогеологические условия месторождений. Полученные результаты позволили выполнить классификацию выделенных водоносных комплексов, провести стратификацию подмерзлотных рассолов до глубины 900 м от дневной поверхности. Были выделены и изучены подмерзлотные верхнекембрийский и среднекембрийский водоносные комплексы, также был охарактеризован нижнекембрийский водоносный комплекс [Дроздов, Иост, Лобанов и др., 2008].

В настоящее время статусом промышленных месторождений обладают две трубки – «Зарница» и «Удачная». Дальнейшее развитие горных и добычных работ требует доизучения криогидрогеологических условий в пределах шахтного и карьерного полей данных месторождений. Отдельным вопросом выступает изучение криогидрогеологических условий участков закачки, находящихся на разных стадиях промышленного освоения. Это, в свою очередь, привело к необходимости дополнительного гидрогеологического изучения нижнепалеозойских пород, а также увеличению детализации изучения верхнекембрийского, среднекембрийского и нижнекембрийского подмерзлотных водоносных комплексов, т.к. за последнее десятилетие существенно увеличилась техногенная нагрузка на все три выделяемые в отметках планируемой отработки трубки «Удачная» водоносных комплексов.

За прошедшее десятилетие (2013–2023 гг.) силами специалистов-гидрогеологов АК «АЛРОСА» (ПАО), совместно с научными сотрудниками ИЗК СО РАН, ИМЗ СО РАН, выполнено большое количество работ, направленных на доизучение гидрогеологических условий Далдынского кимберлитового поля. Имеющийся пласт разобранной информации, приведенной как в

производственных отчётах, так и в отдельных публикациях, требовал проведения консолидации и выполнения необходимого анализа. Отдельно стоит отметить, что данные, приведенные в предыдущих исследованиях, в том числе в опубликованных монографиях, не смотря на несомненную фундаментальность и прогнозную правильность, на настоящий момент требуют некоторой актуализации.

Цель проводимой работы – создание источника достоверной и актуализированной информации для научных работников специализированных организаций и специалистов-гидрогеологов, а также тиражирование накопленного опыта и имеющейся информации.

В представленной работе использованы фондовые материалы Мирнинской ГРЭ (Иост Н.А., Ильков А.Т., Янников А.М., Гриков С.В. и др.), Вилюйской ГРЭ (Иост Н.А., Янников А.М., Гриков С.В., Ильин А.В., Валеев П.В. и др.), института Якутнипроалмаз (Дроздов А.В., Лобанов В.В., Янников А.М., Корепанов А.Ю. и др.), НИГП (Толстов А.В. и др.), Удачинского ГОКа (Павлов С.С., Ермолаев К.Н.), а также ИЗК СО РАН (Алексеев С.В., Алексеева Л.П. и др.) и ИМЗ СО РАН (Шепелев В.В., Великин С.А. и др.), которым автор выражает большую признательность.

Автор выражает благодарность за существенную помощь и ценные советы Толстову А.В., Иост Н.А., Илькову А.Т., Зырянову И.В.

Отдельную благодарность автор выражает докторам геолого-минералогических наук ... за ценные советы и критические замечания, которые поспособствовали улучшению данной монографии.

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Состояние изученности проблемы

Предыдущими поколениями исследователей была выполнена огромная работа, ценность которой не подвергается сомнениям. Но в то же время исследования предыдущих лет были сконцентрированы на отметках добычи алмазов (верхние 500–700 м) или оценке углеводородных перспектив территории (глубины 2500–2800 м от дневной поверхности) [Харькив, 1997, 1998; Геология, прогнозирование... , 2004]. Другими словами, в настоящее время назрела необходимость детализации, а также более подробного изучения гидрогеологических условий в отметках подземной и открытой отработки трубок «Удачная» и «Зарница». В настоящее время перспективные эксплуатационные блоки упомянутых месторождений находятся на глубинах от 200 (тр. «Зарница») до 1700 м (тр. «Удачная») от дневной поверхности. Вовлечение данных запасов необходимо для поддержания алмазодобычи Удачинского ГОКа [Отчет по ИТУ, 2010 ф, 2011 ф; Иост, 2020 ф].

Настоящая работа ставит целью не только изучение гидрогеологических условий в упомянутых ранее отметках, но и актуализацию и детализацию строения нижнекембрийского, среднекембрийского и верхнекембрийского водоносных комплексов, с учётом влияния структурно-тектонического и литолого-фациального факторов, по данным, полученным в ходе строительства и эксплуатации участков «Киенгский», «Левобережный», «Левобережный-2», «Нижнекембрийский юго-восточный» и «Среднекембрийский», разведки глубоких горизонтов трубок «Удачная» и «Зарница».

Отдельно необходимо отметить, что для полного отражения влияния структурно-тектонического фактора, который является одним из определяющих и формирующих особенности гидрогеологических условий отдельных участков недр, данная монография будет структурирована относительно объектов изучения. Вмещающие массивы, как зоны динамического воздействия от внедрения кимберлитовых трубок, будут рассмотрены в отдельных главах от зон воздействия основных региональных разломов и общих гидрогеологических особенностей Далдынского кимберлитового поля.

1.2 Методы исследований

Изучение гидрогеологических условий осуществлялось на основе полевых, лабораторных и теоретических исследований. Основными полевыми методами являлись эксперименты, проводимые автором данной работы самостоятельно. В их состав входило:

- проведение натуральных поинтервальных экспериментов по скважинам, пробуренным как с поверхности, так и из подземных горных выработок, для оценки водообильности, газообильности и проницаемости толщ осадочных пород онхойюряхской, моркокинской, мархинской, удачнинской, кумахской эмяксинской свит и нерасчленённой известняково-доломитовой толщи, на основе поинтервальных постановок пласто-испытателей, выпусков пластовых вод и газов, компрессионных испытаний, газового каротажа;

- изучение литологических разностей осадочных пород онхойюряхской, моркокинской, мархинской, удачнинской, кумахской эмяксинской свит и нерасчленённой известняково-доломитовой толщи, полевыми и лабораторными методами;

- оценка фильтрационных параметров осадочных пород онхойюряхской, моркокинской, мархинской, удачнинской, кумахской эмяксинской свит и нерасчленённой известняково-доломитовой толщи, с использованием опытных откачек, наливов, режимных наблюдений по сети скважин, в том числе пробуренных из подземных горных выработок;

- отбор проб воды, газа, керна на разные виды анализов при бурении разведочных, геомеханических и опытных скважин;

- изучение разрывных нарушений, проявлений малоамплитудной тектоники, их картирование, вынесение на планы, выполняемое непосредственно в подземных горных выработках рудника «Удачный»;

- режимные наблюдения за расходами пластовых вод и газов по сети скважин, пробуренных из подземных горных выработок, необходимые для определения изменения динамики самоизлива вод;

- сопровождение бурения на участках закачки, с проведением всего перечня необходимых гидрогеологических исследований;

- гидрогеологическое сопровождение поисково-оценочных работ.

При анализе полученных результатов широко использовались методы изучения гидродинамики и гидравлики водонасыщенных сред в условиях неустановившегося и квазистационарного режимов [Вельмина, 1966, 1970; Климентов, Кононов, 1978; Методы битуминологических исследований ... , 1978; Методика мерзлотной ... , 1979; Шваров, 1999]. В ходе решения поставленных задач использовались общепринятые методики проведения

гидрогеологических, геофизических, газовых и других исследований [Косолапов, 1963; Основы геокриологии ... , 1959, 1995, 1996, 1998, 1999, 2001; Руководство по анализу ... , 1966; Основы гидрогеологии ... , 1980, 1982, 1983; Савельев, 1985; Гидрогеологические исследования ... , 1982; Крайча, 1990; Крайнов, Швец, 1992; Минорин, 2000; Великин, 2020; и др.; Diersch, 2014; Chen et.al., 2017].

Лабораторные работы по химическому анализу подземных вод, растворённых и свободных пластовых газов, выполнялись в институтах Якутнипроалмаз и ИЗК СО РАН с использованием количественных и полуколичественных методов. Лабораторные определения физико-механических свойств горных пород осуществлялись в лаборатории геомеханики института Якутнипроалмаз.

Теоретические исследования сводились к аналитическому решению задач по определению влияния выделенных природных и техногенных факторов на режим и интенсивность излива природных рассолов, методами сопоставления, корреляции, временного, планового и комбинированного прослеживания, статистического анализа. Оценка фильтрационных свойств выделенных коллекторов, определение гидродинамических параметров осуществлялись графоаналитическими и гидродинамическими методами.

2. ГЕОЛОГО-КРИОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДАЛДЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

Геологические условия изучаемой площади, а именно наличие двух этажей строения (кристаллического фундамента и осадочного чехла) определяются ее нахождением в пределах древнего кратона – Сибирской платформы, а именно в зоне сочленения северо-восточного борта Тунгусской синеклизы с юго-западным склоном Анабарской антеклизы [Геология СССР, 1970; Геология Якутской АССР, 1981; Геологическая карта ... , 1999].

Осадочный чехол изучаемой площади сложен палеозойскими карбонатными и терригенно-карбонатными породами венда, кембрия и ордовика, а также четвертичными отложениями различных генетических типов. Общая мощность осадочной толщи изменяется от 2200 до 2500 м. Структурные этажи разделены между собой перерывами в осадконакоплении, угловыми и стратиграфическими несогласиями [Геология, гидрогеология ... , 1986].

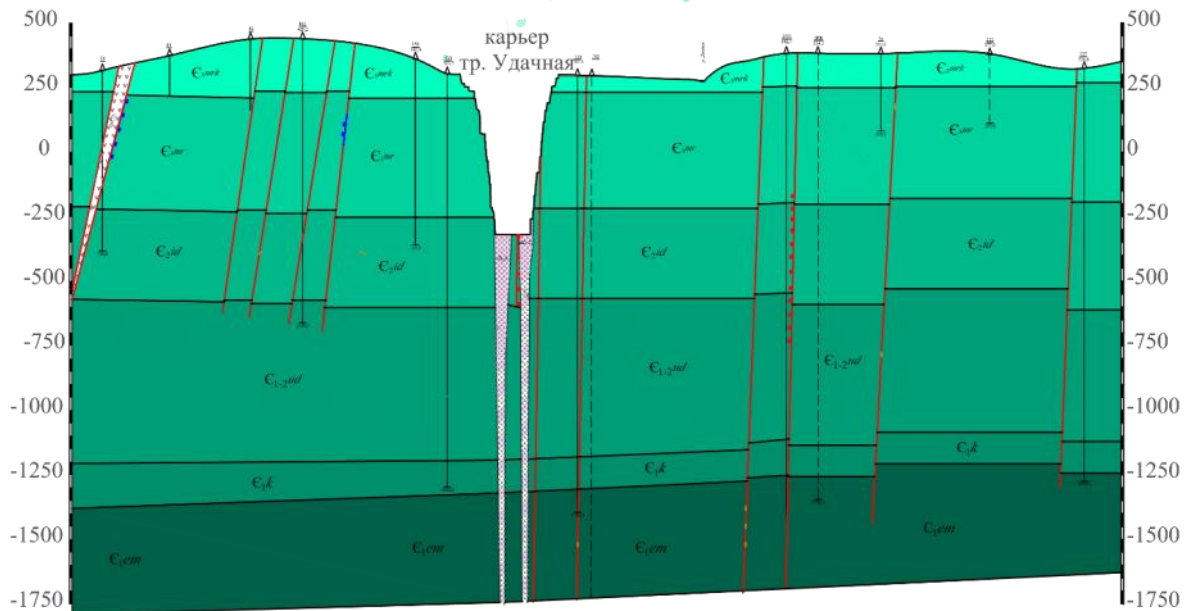
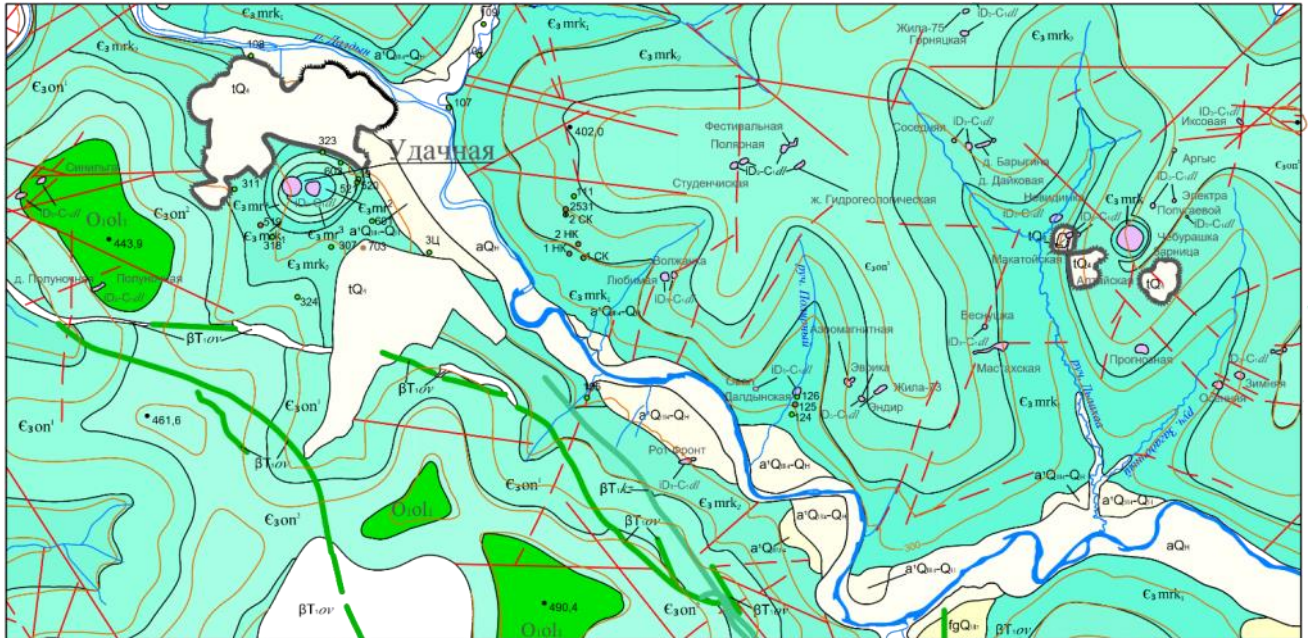
Нижнепалеозойские породы частично перекрыты вулканогенными породами триаса и отложениями четвертичного возраста. Магматические образования пользуются незначительным распространением и представлены не выходящими на поверхность силлами и дайками долеритов, выполняющими региональные разломы [Геологическое строение СССР ... , 1987] (Рис. 2.1).

Вмещающие породы непосредственно в интервалах отработки +350/-1500 м коренных месторождений алмазов преимущественно представлены породами манькайской ($\text{Є}_1 \text{mn}$) в отм. -1400/-1500 м, эмяксинской ($\text{Є}_1 \text{em}$) в отм. -1200/-1400 м, кумахской ($\text{Є}_1 \text{k}$) в отм. -1070/-1200 м, удачнинской ($\text{Є}_{1-2} \text{ud}$) в отм. -570/-1070 м, нерасчленённой известняково-доломитовой толщи ($\text{Є}_2 \text{id}$) в отм. -170/-570 м, мархинской ($\text{Є}_3 \text{mr}$) в отм. +230/-170 м и моркокинской ($\text{Є}_3 \text{mrk}$) в отм. +350/+230 м свит. Перекрывающие породы в отм. +370/+350 м представлены маломощными терригенными отложениями четвертичного возраста и частично, как правило, на водоразделах, вулканогенными породами триаса [Янников, 2021а, 2022б].

Слагающие фундамент породы входят в анабарский гранулитовый комплекс, представленный далдынской, верхнеанабарской и хапчанской сериями архея. Выделяемые серии определены по ксенолитам из кимберлитовых трубок Алакит-Мархинского и Далдынского полей, а также по аналогии с Анабарским массивом [Потуроев и др., 1974 ф].

Далдынская серия, вскрытая в процессе бурения параметрической скважины №703, представлена бескварцевыми основными кристаллическими сланцами, верхнеанабарская серия сложена кварцсодержащими парапородами, линзами кварцитов, гнейсокварцитов и высокоглиноземистыми породами,

хапчанская серия – биотит-гранатовыми, гранатовыми гнейсами, кальцифирами. В зонах смятия и дробления широко распространены полиметаморфические породы верхнеламауйкского комплекса, сформировавшиеся в результате диафтореза в условиях амфиболитовой фации в позднеархейское-раннепротерозойское время [Зайцев, Толстихин, 1963]. Вскрытая мощность пород фундамента в пределах территории исследований составила 172 м.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ








 Моркокинская свита.	 Известняково-доломитовая толща	 Кумахская свита	 Тектонические нарушения
 Мархинская свита.	 Удачинская свита.	 Эмяксинская свита.	

Рис. 2.1 Геологическая карта изучаемой площади (по материалам МГРЭ).

Согласно существующим схемам районирования фундамента северо-восточной части Сибирской платформы Далдынская площадь находится в пределах Анабарского мегаблока. В фундаменте выделяется целый ряд разновозрастных глубинных разломов, обусловивших его блоковое строение. Глубинные разломы субмеридиональной ориентировки [Потуроев и др., 1977 ф] позднеархейского заложения активизировались в пострanneпротерозойское время. Глубинные разломы раннепротерозойского заложения, являющиеся краевыми разломами шовных зон, трассируются в известные субмеридиональные шовные зоны Анабарского массива. Субширотная система глубинных разломов рифейского заложения прослеживается по всей территории Далдыно-Алакитского района [Косыгин, 1974; 1983]. По разломам фиксируются смещения сдвигового и сбросо-сдвигового характера. Субширотная система разломов активизировалась в девон-каменноугольное и пострanneмезозойское время. Внутреннее строение кристаллического фундамента Анабарского массива характеризуется сочетанием антиклинорных и синклинорных структур граничащих, как правило, по разломам [Потехина, 2010]. Структуры вытянуты линейно в северо-западном и меридиональном направлениях. Структурная позиция Далдынского кимберлитового поля определяется положением его в пределах Далдынской флексуры, разбитой на блоки Вилуйско-Мархинской зоной глубинных субмеридиональных разломов, контролирующей среднепалеозойский трапповый магматизм [Дукарт, Коробков, 1973; Геологическое строение СССР ... , 1987]. В пределах флексуры выделяются разноплановые типы пликативных и дизъюнктивных дислокаций (рис. 2.2).

Региональный фон осадочной толщи венд-раннепалеозойского структурного яруса характеризуется общим северо-западным простиранием пород с падением их на юго-запад. В пределах яруса по наличию перерыва в осадконакоплении выделяются два структурных подъяруса (вендский и раннепалеозойский), различающиеся некоторыми особенностями структурного плана [Гиниятулин и др., 1989].

Вендский подъярус - поверхность подъяруса определяется по кровле старореченской свиты, характеризуется дислоцированностью, отражающей параметры перестройки кровли фундамента на протяжении всего процесса платформенного развития изучаемой территории. По характеру и степени дислоцированности выделяется ряд блоков, связанных с определенными этапами развития и принадлежностью блока к той или иной региональной структуре, выделяемой в пределах кристаллического фундамента. Восточные блоки, граничащие с Силигино-Мархинским архейским антиклинорием, характеризуются линейной малоамплитудной складчатостью, согласующейся с общим простиранием региональных структур.

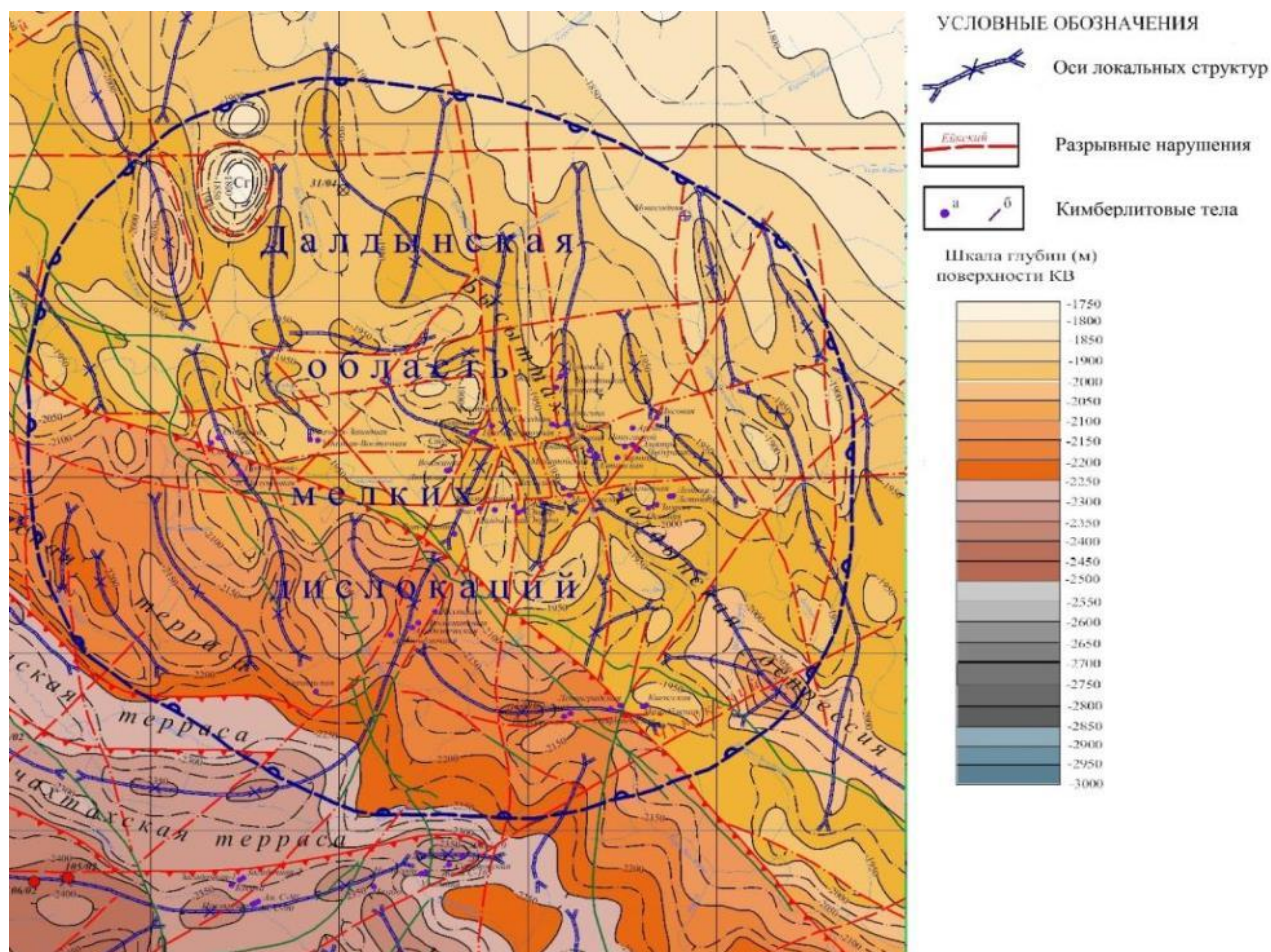


Рис. 2.2 Структурно-тектоническая карта территории (по материалам МГРЭ).

Азимуты простираения складок $345\text{--}360^\circ$, амплитуды смещения, как правило, составляют от 25 до 50 м, расстояние между осями сопряженных структур не превышает 2 км, а их протяженность достигает – 15–25 км. В пределах восточного блока наблюдается общее пологое погружение в южном направлении от -1900 м до - 2100 м. Осложняющими элементами меридиональной складчатости являются согласные и секущие разрывные нарушения. По согласным направлениям наблюдаются крутопадающие сбросы с амплитудами смещения до 50 м, при этом, как правило, опущено западное крыло. По нарушениям, секущим складчатость, отмечаются подвижки сдвигового характера, проявляющиеся однонаправленным смещением шарниров складок. Амплитуды горизонтальных перемещений не превышают 0,5 км [Термо- и геомеханика ... , 1995; Бурова, 2001].

Доминирующую роль в восточной части территории исследований занимает региональная структура кристаллического фундамента – Силигино-Мархинский антиклинорий, восточная и западная границы которого контролируются региональными зонами разломов, фиксирующимися по

интенсивным градиентам магнитного поля. Межблоковые разломы подчеркиваются локальными складчатыми структурами и малоамплитудными сбросами. По западной границе антиклинория также наблюдаются слабо проявленные сбросы незначительной протяженности. Силигино-Мархинский антиклинорий разделяется на две ступени зоной динамического влияния регионального Октябрьского разлома, дополнительно секущего сопредельные структуры [Геология СССР, 1970].

Северо-восточная приподнятая ступень характеризуется слабо заметным погружением поверхности в юго-восточном направлении. Гипсометрический уровень залегания в пределах этого блока составляет (-1925)–(-1975) м, понижаясь до – 2100 м в апикальной части локального прогиба на юго-востоке.

В восточной части северного блока развиты линейные локальные структуры меридионального простирания, отличающиеся от охарактеризованных выше меньшей протяженностью, кулисообразным расположением, обусловленным в основном смещениями по секущим разломам. Меридиональная складчатость контролируется согласными сбросами, формирующими малоамплитудные сопряженные горсты – грабены, амплитуды которых не превышают 75 м. В пределах этого блока сконцентрированы практически все кимберлитовые тела, в настоящее время выявленные на левобережье реки Далдын.

Западный блок ограничен с юга зоной динамического воздействия Октябрьского разлома. В пределах блока выделяется серия малоамплитудных структур изометричной и вытянутой формы с невыдержанными простираниями, большая часть которых представлена локальными куполовидными поднятиями до 1–2 км в поперечнике. Кровля старореченской свиты резко погружается по Октябрьскому разлому, простирающемуся по азимуту 300–315°. Амплитуда погружения изменяется от 50 до 150 м, минимальные амплитуды отмечены на северо-западе. Уровень залегания в опущенном юго-западном крыле вдоль разлома составляет -2100/-2125 м.

В пределах южного клиновидного блока антиклинория преобладают локальные дислокации как пликативного, так и дизъюнктивного характера, согласующиеся с его общим простиранием. Локальные структуры имеют форму мысовидных выступов и заливообразных прогибов, иногда отмечаются брахиформные складки с амплитудами 25–50 м и размерами по длинной оси не более 7 км. Центральная часть блока осложняется прогибами наложенного характера, проникающими с запада, например, один из прогибов контролируется разрывными нарушениями северо-восточного простирания (40–45°) и представляют собой в фундаменте малоамплитудный грабен шириной в 2–3 км

Раннепалеозойский подъярус – связан с общим погружением территории исследований и накоплением нижнекембрийских осадков на частично размывтой поверхности уже сформировавшихся структур нижнего подъяруса. Залегание подъяруса имеет в целом нечетко выраженный пологоступенчатый, а участками плоско-волнистый характер, обусловленный незначительными изменениями направления и угла падения пород. Структурный план в целом представляет собой моноклираль с падением слоев от $0^{\circ}10'$ до $40'$, осложненную рядом пликативных и инъективных структур.

Одной из наиболее заметных структур в толще кембрийских отложений является *Далдынская флексура*, отражающая в поверхностных слоях зону Октябрьского разлома. Указанная структура прослеживается в северо-западном направлении ($300\text{--}320^{\circ}$) от юго-восточной границы района до долины р. Сытыкан. Протяженность флексуры достигает 50 км, ширина ее колеблется от 2 до 3 км при амплитуде 50–60 м. Угол падения пород достигает $1\text{--}1^{\circ}30'$. По простиранию одного из северо-восточных разломов, пересекающего всю площадь по диагонали, заметен односторонний изгиб изолиний кровли моркокинской свиты. Морфология этой структуры изучена по нескольким горизонтам. В верхних горизонтах наблюдается валообразная складка. Судя по нижележащим отложениям, она имеет сугубо седиментационное происхождение. Ее амплитуда, видимо, несколько усилена последующим уплотнением окружающих пород и региональным погружением в направлении Тунгусской синеклизы. Структура асимметрична: северо-восточное крыло приподнято и более пологое, юго-западное – более крутое. Крылья флексуры осложнены небольшими малоамплитудными впадинами и поднятиями. Простирание оси флексуры не выдержанно. На ориентировку шарнира структуры, возможно, оказал влияние Силигино-Мархинский разлом фундамента, протягивающийся в субмеридиональном направлении через всю прилегающую территорию (не исключена и противоположная обусловленность, - влияние на локализацию тектонической разгрузки и на заложение разлома существовавшей в кембрии седиментационной структуры). По осевой части Далдынской флексуры проходит краевая часть рифового барьерного пояса. Здесь, как и на юго-западном крыле структуры, широко распространены эпифитоновые известняки, в тоже время они практически отсутствуют в северо-восточном крыле. В пределах северо-восточного крыла флексуры, имеющего наклон на юго-запад $1\text{--}3^{\circ}$ и менее, выявлено значительное количество тектонических нарушений, кимберлитовых трубок. Юго-западное крыло флексуры, характеризующееся наклоном от 2 до 7° , осложнено также разрывными нарушениями различных порядков, нередко контролируемые трапповыми интрузиями [Геология нефти ... , 1981].

В пределах близлежащих, относительно к территории исследований, площадей выделяются схожие структуры осадочного чехла: Мархаринская, Желиндакан-Курунг-Юряхская и Алакитская флексуры.

Разрывные нарушения - к системе наиболее древних на Анабарском щите относятся разрывные нарушения субмеридиональной ориентировки, контролировавшие заложение и развитие крупных структур в фундаменте. Время их заложения, по всей видимости, датируется поздним археем. Непосредственно на территории исследований выделяются два межблоковых региональных разлома, простирающиеся по азимуту $345-355^\circ$ и ограничивающие с запада и востока Силигино-Мархинский антиклинорий.

К позденархейским тектоническим нарушениям относятся также внутриблоковые разломы субмеридионального простирания, как правило, контролирующие формирование локальных структур.

Разрывные нарушения северо-западного простирания контролируются Вилуйско-Котуйской системой разломов, осложняющих строение северо-восточного борта Тунгусской синеклизы и контролирующей трапповый магматизм в пределах территории исследований.

Одним из таких разломов является Октябрьский. Зона динамического влияния Октябрьского разлома прослеживается через всю площадь по азимуту $300-315^\circ$, и представлена серией сближенных сбросов, суммарная амплитуда которых составляет от 50 до 150 м. Минимальные значения вертикальных амплитуд смещения зафиксированы на северо-западе площади. По кровле моркокинской свиты превышение северо-восточного блока над юго-западным составляет от 50 до 60 м. Таким образом, наблюдается конседиментационный характер заложения и развития Октябрьского разлома.

Дайковый комплекс закладывался в более поздний период, так как занимает секущее положение по отношению к упомянутым выше террасам и зоне Октябрьского разлома. На фоне преобладания дайковых интрузий северо-западного простирания наблюдаются дайки всех других охарактеризованных ранее направлений, то есть многие интрузии внедрялись по уже существовавшим каналам. Залегают дайки почти вертикально ($80-90^\circ$), что дополнительно подтверждается результатами геофизических съёмок. По характеру взаимоотношения даек в узлах их пересечения зафиксировано, что дайки с положительным знаком намагничения сформировались несколько раньше отрицательно намагниченных [Геология, гидрогеология ... , 1986].

Криогидрогеологические условия Далдынского кимберлитового поля определяются его принадлежностью к зоне сочленения Оленекского и Верхневилуйского криоартезианских бассейнов (КАБ) Якутской провинции [Толстихин, Максимов, 1955; Толстихин, 1962; Басков и др., 1974; Основные

типы ... , 1974]. По причине незначительности влияния, а также отсутствия перспектив использования надмерзлотных и межмерзлотных вод, основным объектом изучения выступают подмерзлотные природные рассолы [Геокриология СССР. Восточная Сибирь ... , 1989; Геокриология СССР. Средняя Сибирь ... , 1989; Фотиев, 1990].

Характеристика надмерзлотных и межмерзлотных вод, их посолитная приуроченность, а также основные гидродинамические характеристики будут приведены при характеристике гидрогеологических условий шахтного и карьерного полей отработываемых месторождений – трубок «Зарница» и «Удачная». Криогидрогеологические условия участков закачки: «Киенгский», «Левобережный», «Левобережный-2», «Среднекембрийский» и «Нижнекембрийский юго-восточный» будут охарактеризованы отдельно в рамках данной главы.

Дополнительно в отдельной главе будет рассмотрен сформировавшийся в процессе эксплуатации питьевого водохранилища на реке Сытыкан природно-техногенный талик.

Территория исследований входит в состав северной геокриологической зоны Сибирской платформы (североконтинентальная подзона), которая характеризуется [Романовский, 1968; Толстихин, 1971; Геоэкология Севера, 1992]:

- сплошным распространением многолетнемерзлых пород (ММП);
- непрерывностью мощной криогенной толщи, составляющей до 1500 м [Якупов и др., 1976];
- значениями отрицательных температур от -2 до -16 °С.

Основной чертой климата региона является резкая континентальность, северная часть территории исследований характеризуется субарктическим климатом. Низкая среднегодовая температура воздуха и отрицательный годовой радиационный баланс ($-0,5 \dots -2,0$ ккал/см²·мес) благоприятствуют сохранению, а также локальному преобразованию температурных полей мерзлых массивов. Температурный режим мерзлой толщи имеет прямую связь с температурой земной поверхности и формируется, кроме всего, под воздействием климатических, ландшафтных, геоморфологических и других факторов [Достовалов, 1967].

Многолетнемерзлые породы представлены карбонатно-глинистыми отложениями моркокинской, реже мархинской свит, а на участке «Киенгский» еще и породами онхойюряхской свиты и олдондинской свиты нижнего ордовика [Дроздов, 2004].

Криогенная толща района имеет трехъярусное строение (табл. 2.1) [Баранов, 1960, 1963, 1970; Янников, 2022в].

Строение криолитозоны в пределах Далдынского кимберлитового поля

Название толщи (мощность, м)			Состояние распространенных газов
Верхняя часть литосферы	Ярус (по Фотиеву)	Водоносный комплекс	
Криолитозона (620 – 1050)	Мерзлых пород (60–250)	спорадически межмерзлотный (5–10)	Свободный, сорбированный, газогидраты
	Морозных пород (10–50)	отсутствует	Свободный, газогидраты, сорбированный
	Охлажденных пород (430–650)	Верхнекембрийский комплекс (ВВК)	Растворенный, сорбированный
		Среднекембрийский комплекс (СВК)	Газогидраты, сорбированный
			Растворенный, сорбированный

Верхний ярус слагают ММП, содержащие льды различных типов, заполняющих поры, каверны, трещины [Толстихин, 1973; Романовский, 1979, 1983; Alexeev, 1997a, 1997b; Алексеев и др., 2014]. Нижний ярус состоит из охлажденных пород, пустоты которых заполнены солеными водами и рассолами с отрицательной температурой – криопэгами [Геологический словарь ... , 1978; Всеволожский, 1991]. Промежуточное значение занимает ярус морозных пород [Втюрин, 1975]. Необходимо отметить, что в процессе различных исследований последних лет в регионе представление о строении верхнего яруса криолитозоны несколько изменилось. Некоторыми скважинами в толще ММП зафиксированы реликтовые линзы соленых вод и рассолов в нижнеордовикских отложениях. Изолированность и линзообразный характер таких водонасыщенных толщ доказан с помощью опытно-фильтрационных исследований. Наличие реликтовых линз послужило основанием для выделения межмерзлотного типа подземных вод [Гидрогеология СССР ... , 1959; Романовский, 1966]. Как правило, такие линзы межмерзлотных вод в кровельной их части сопровождаются талыми породами, не содержащими гравитационную воду. Они служат зоной постепенного перехода от ММП к водонасыщенным и одновременно охлажденным породам, имеющим отрицательную температуру [Катасонов, 1972; Толстихин, Толстихин, 1974, 1975; Гасанов, 1981]. Мощность этой переходной зоны незначительная и не превышает 10 м. Кроме того, в мерзлой толще встречаются единичные маломощные (до 1–5 м) линзы талых пород, не содержащие гравитационную воду. Они могут залегать на различных глубинах в зависимости от мощности яруса ММП [Дубиков, 2002].

Мощность верхнего яруса криолитозоны (ММП) в пределах территории исследований составляет не менее 150 м, и зависит преимущественно от рельефа и структурно-тектонических особенностей горных массивов [Катасонов, 1961; Толстихин, 1965; Баулин и др. 1983]. Например, в центре Сугуннахского блока мощность ММП составляет более 600 м. Зафиксированная мощность является аномальной, т.к. обычно составляет 200–300 м [Кирюхин, 1987, 2005; Alexeev, Alexeeva, 1998].

Плотные породы (известняки, доломиты) разбиты вертикальными и наклонными трещинами скола шириной 0,5–2,0 см. Также фиксируются интервалы пористых и кавернозных известняков. Диаметр каверн составляет 0,2–0,5 см, а иногда достигает 1,5–2,0 см. Мерзлые породы имеют трещинные, пластово-трещинные и пластово-трещинно-карстовые криогенные текстуры. Лед в трещинах чистый, прозрачный, иногда в его массе заключены пропластки мергелей и известняков. Объемная льдистость пород изменяется по разрезу от 20 до 5 %. Влажность глинистых известняков составляет 6–14 %. В ряде случаев скважинами вскрыты пачки монолитных крепких известняков и доломитов мощностью 2–5 м. Пленки льда визуальны только на сколе образцов. Подошва ММП фиксируется на глубине 70–230 м. Влажность этих литологических разностей не превышает 1–2 %. Ниже по разрезу до кровли первого от поверхности водоносного комплекса прослеживается 40–60 - метровая толща морозных горных пород без включений льда.

Криогенное строение осадочных пород в зонах тектонических нарушений изучено по керну скважин глубиной 60–280 м. Установлено, что зоны дробления осадочного чехла отличаются интенсивной трещиноватостью и связанной с ней льдистостью. Породы в них местами превращены в щебень и сцементированы льдом. В приповерхностных интервалах в этом случае отмечаются расширенные трещинные, трещинно-жильные и базальные криогенные текстуры. Ниже по разрезу осадочные толщи разбиты вертикальными и наклонными трещинами шириной от 0,5 до 12,0 см. Лед в трещинах чистый, прозрачный. В его массе заключены обломки пород. Трещины напластования зафиксированы только в глинистых известняках и мергелях. В ряде случаев скважинами на глубинах 28, 35, 70 м вскрыты жилы льда мощностью 1,0–1,5 м. А иногда до 3,0 м. Как правило, лёд с большим количеством пузырьков газа. В интервале глубин 30–180 м породы также отличаются значительной нарушенностью и льдистостью, значения которой составляют 10–35%. Лёд в трещинах прозрачный с пузырьками воздуха. Ширина трещин от 2 до 8 см. Кроме трещиноватости интервал характеризуется наличием каверн, заполненных льдом. Размеры каверн различные – от 1 до 8 см в диаметре [Дроздов, Иост, Лобанов, 2008].

В интервале 180–200 м трещиноватость заметно уменьшается. Величина

объёмной льдистости составляет 5–10%, а ширина трещин не превышает 2 см. На глубине 200–220 м отмечены только каверны (0,5–1,0 см в диаметре), заполненные льдом. Ниже 220 м отмечается монолитная морозная толща, в которой включения льда не фиксируются. Подошва этого слоя соответствует кровле первого от поверхности водоносного комплекса.

В пределах осадочного чехла выделяется несколько водоносных комплексов, в таблице 2.2 приводится корреляционная схема старой и последней редакции гидрогеологической стратификации разреза.

Надмерзлотные воды представлены водами сезонно-талого слоя (СТС), а также гидрогенных несквозных подрусловых и подозёрных таликов [Пиннекер, 1973а, 1975; Гидрогеология, 1984; Шепелев, 1982, 1992, 1995]. Воды сезонно-талого слоя характеризуются сплошным распространением и приурочены к рыхлым аллювиальным, склоновым, элювиальным четвертичным отложениям. Они существуют сезонно [Гидрогеология ..., 1970, 1974, 1976].

Таблица 2.2

Подмерзлотные водоносные комплексы

Старая стратификация разреза			Новая стратификация разреза		
№ п/п	Название толщи	Индекс	№ п/п	Название толщи	Индекс
1	Верхнекембрийский водоносный комплекс	Є ₃ mrh+mrk	1	Верхнекембрийский водоносный комплекс (ВВК): - 1 горизонт (региональный – ВВК ₁); - 2 горизонт (спорадический – ВВК ₂); - 3 горизонт (региональный – ВВК ₃)	Є ₃ Є ₃ mr ⁴ Є ₃ mr ²⁻³ Є ₃ mr ¹
2	Среднекембрийский водоносный комплекс: - 1 водоносный горизонт - 2 водоносный горизонт - 3 водоносный горизонт	Є ₂₋₃ çk Є ₂ lg Є ₂ ud	2	Среднекембрийский водоносный комплекс (СВК): - 1 водоносный горизонт (СВК ₁) - 2 водоносный горизонт (СВК ₂)	Є ₂ id Є ₁₋₂ ud ²
3	Нижнекембрийский водоносный комплекс	Є ₁	3	Нижнекембрийский водоносный комплекс (НВК)	Є ₁ +Є ₁₋₂ ud ¹

Обычно только в течение летне-осеннего периода. Мощность горизонта не превышает 1,0–2,5 м. нижним водоупором для таких вод служат многолетнемёрзлые породы. Питание осуществляется за счёт атмосферных

осадков [Экологическая гидрогеология ... , 2006]. Сток надмерзлотных вод сезонно-талого слоя происходит в соответствии с уклоном поверхности земли. Поэтому существование, режим, динамика этих вод в значительной степени определяется рельефом. Подземные воды имеют преимущественно гидрокарбонатный, сульфатно-гидрокарбонатный магниевый-кальциевый или кальциевый-магниевый состав с минерализацией от 0,03 до 0,5 г/л. В терригенно-карбонатных породах величина минерализации вод СТС составляет 0,18–0,48 г/л. В траппах она существенно ниже и не превышает 0,18 г/л. Значения pH изменяются от 6,9 до 7,6.

Воды подрусовых таликов на площади исследований распространены в долине рек Сытыкан и Далдын. Они приурочены к аллювиальным песчано-гравийно-галечным четвертичным отложениям, а также к наиболее выветрелой части коренных пород. Мощность водоносных горизонтов изменяется от 5 до 30 м. Отличительная особенность подземных вод - их тесная связь с поверхностными водами рек, что выражается в химическом составе. Воды подрусовых таликов имеют сульфатно-гидрокарбонатный магниевый-кальциевый состав с минерализацией до 0,5 г/л. В зависимости от литологического состава, степени трещиноватости русловых отложений и коренных пород коэффициент водопроводимости составляет 3,6–106,8 м²/сут. Высокими фильтрационными свойствами обладают преимущественно обломочные породы с небольшим содержанием песчанистого заполнителя, а низкими - мелкозернистые пески и прослойки тяжелой супеси. Разгрузка подземных вод подрусовых таликов происходит в речную сеть. Воды подошвенных таликов на площади исследований не отмечены.

Межмерзлотные воды. В разрезе ММП спорадически вскрываются линзы, приуроченные к отложениям олондинской свиты и содержащие хлоридно-кальциевые рассолы с минерализацией до 92 г/л [Шварцев, 1973; Пиннекер, 1977; Алексеев, Алексеева, 2008; Алексеев и др., 2015, Алексеева, 2016; Alexeev, Alexeeva, 2000, 2002a, 2002b].

Подмерзлотные воды района месторождения приурочены к кембрийским и протерозойским отложениям [Пиннекер, 1974; Абрамов, 1998]. В соответствии с принципами гидрогеологической стратификации, по результатам проведенных исследований, вблизи месторождения сверху вниз выделены следующие водоносные комплексы: *верхне-, средне-, нижнекембрийский и верхнепротерозойский.*

Верхнекембрийский водоносный комплекс (ВВК) в радиусе 15–20 км от трубки «Удачная» распространен повсеместно и приурочен к отложениям моркокинской и мархинской свит, представленных тонким аритмичным переслаиванием мергелей, глинистых известняков, доломитов [Авдеева и др.,

1976]. Его кровля залегает на глубинах от +99,5 до +183,8 абс. м, понижаясь, в региональном плане, в южном направлении. При этом положение кровли характеризуется наличием микрорельефа, который сформировался, скорее всего, под влиянием тектонических факторов [Алексеев и др., 2003, 2007, 2011, 2012а, 2012б; Alexeev, Alexeeva, 2003а, 2003б].

Вблизи месторождения водоносный комплекс представлен тремя водоносными горизонтами, которые приурочены в основном к отложениям мархинской свиты [Агринский, 1980]. Порода кровли подмерзлотного водоносного горизонта не связаны строго с определенными литологическими или стратиграфическими разностями пород. Наиболее низкие отметки кровли водонасыщенных пород отмечаются на юго-восточном крыле Октябрьского разлома. Подошва водоносного комплекса совпадает с подошвой первой пачки мархинской свиты, залегающей на отметках от –175 до –265 м. Мощность комплекса водовмещающих пород составляет в среднем 370 м, суммарная эффективная мощность пластов-коллекторов достигает 52,0 м, что составляет около 10–15 % мощности свиты. Водонасыщенные коллекторы, в основном, имеют мощность от 0,2 до 2,2 м, а единичные из них могут достигать 8 м. Наиболее водообильной является первая пачка мархинской свиты. Общая ее мощность вблизи месторождения довольно выдержана и составляет в среднем 86,8 м. Водоносный комплекс характеризуется весьма низкой проницаемостью пород. Значения коэффициента водопроницаемости в районе трубки изменяются от 0,02 до 0,19 м²/сут. В пределах зоны Октябрьского разлома и системы оперяющих его разломов наблюдается узкая изолированная полоса с повышенными значениями коэффициента водопроницаемости – от 7,3 до 31,6 м²/сут (табл. 2.3).

Верхнекембрийский водоносный комплекс представлен тремя водоносными горизонтами, которые приурочены в основном к отложениям мархинской свиты: – 1 подмерзлотный горизонт (региональный); – 2 горизонт (спорадический); – 3 горизонт (региональный) [Пиннекер, 1966, 1973, 1984; Колосов, 1988; Кононов, 2006]. Воды подмерзлотного горизонта представлены хлоридными рассолами смешанного катионного состава с минерализацией от 22 до 252 г/дм³. Наиболее крепкие рассолы приурочены к юго-западной части Октябрьского участка закачки за пределами трапповой дайки, с меньшими значениями – к зонам тектонических нарушений [Филин, Атрощенко, 2005; Крицук, 2010; Алексеева, Алексеев, 2018а, 2018б]. Основной диапазон минерализации составляет 80–150 г/дм³. Подземные воды третьего горизонта, приуроченные к первой пачке мархинской свиты, представлены хлоридными кальциевыми рассолами с минерализацией до 300 г/дм³.

Характеристика ВВК

№	№ скв.	Интервал опробования, м	Дебит, м ³ /сут	Удельный дебит, м ³ /сут/м	Водопроницаемость, м ² /сут
1	28	300-500	13	0,147	0,03
2	33	276-700	51,84	1,89	9,49
3	34	120-700	10,63	0,041	0,02
4	103(ц) 101(н) 102(н)	285-500	103,7	8,79	31,6 18,9 7,30
5	115(ц) 116(н)	239-500	68	3,52	22,42 27,40
6	116	222-500	46,7	12,62	19,86
7	117	240-500	1,81	0,018	0,063
8	118	300,5-500	3,02	0,077	0,28
9	119	281-500	0,086	0,0003	0,0025
10	120	248-400	0,026	0,0001	0,0003
11	305	176-275	0,13	0,001	0,004
12	309	224-300	0,12	0,001	0,003
13	313	176-250	0,13	0,002	0,003
14	130	242-450	0,22	10 ⁻⁵	0,0059
15	131	254-450	0,09	10 ⁻⁵	0,0057
16	132	293-450	0,09	10 ⁻⁵	0,004
17	133	242-500	0,2	3,5*10 ⁻⁵	0,0111
18	134	239-450	0,13	-	0,0108
19	135	218-450	0,035	8*10 ⁻⁶	0,004
20	136	284-400	0,26	6,6*10 ⁻⁵	0,009
21	137	220-400	0,024	3*10 ⁻⁶	0,0037

Характерной отличительной особенностью первых двух водоносных горизонтов верхнекембрийского водоносного комплекса является их малая водообильность и весьма низкие фильтрационные параметры: водопроницаемость изменяется от 0,0003 до 0,03 м²/сут, проницаемость 0,011–0,5 мД, а открытая пористость пород в среднем не превышает 7–14 %. Подземные воды верхнекембрийского комплекса обладают незначительными напорами над кровлей (20–54 м), а естественный пьезометрический уровень устанавливается на глубинах от +169,0 до + 207,5 абс. м, образуя своеобразный «микрорельеф», связанный с разбросом минерализаций рассолов и, соответственно, плотностей подземных вод.

С 1984 г. подмерзлотный водоносный горизонт (ВВК) дренируется карьером «Удачный» [Лобанов и др., 1988]. Притоки природных рассолов из комплекса в первые 3–4 года отработки составляли до 500–1000 м³/сут. В

настоящее время комплекс существенно сдренирован, остаточные притоки к карьерному полю не превышают 50 м³/сут.

Среднекембрийский водоносный комплекс (СВК) приурочен к переслаивающимся карбонатным отложениям известняково-доломитовой толщи (*Є_{2id}*) и карбонатным отложениям верхней пачки удачининской свиты (*Є_{1-2ud}²*) средне-нижнего кембрия [Бобров, 1959, 1962]. По Далдыно-Алакитскому району водоносный комплекс распространен повсеместно, при этом в районе трубки «Удачной» в его разрезе выделяется два водоносных горизонта [Алексеев, 2000; Алексеева, и др., 2004; Alexeev et.al., 2004].

Подземные воды приурочены к коллекторам каверно-порового типа в известняках и доломитах, характеризующихся высокой открытой пористостью (до 18 %) и проницаемостью [Шварцев, 1995, 1997, 2008; Анциферов, 1989]. Суммарная эффективная мощность коллекторов достигает 250 м, а мощность отдельных коллекторов изменяется от 0,1 м до 8–10 м.

По результатам испытаний КИИ-95 суммарные водопритоки изменялись от 0,1 до 1,92 л/с (Западная зона) и 0,31–4,17 л/с по Восточной зоне. Водоносный комплекс характеризуется пластовым давлением от 45,5 до 118 кг/см². СВК характеризуется невыдержанным распространением пластов-коллекторов в плане и разрезе, а также существенной неоднородностью фильтрационных параметров. Значения коэффициента водопроницаемости изменяются от 0,02 до 86,96 м²/сут, пьезопроводность от 0,1×10³ до 1×10⁵ м²/сут. Суммарные водопритоки в скважины при производстве опытных откачек составляли от 98 до 720 м³/сут (табл. 2.4).

Кровлей водоносного комплекса служат карбонатно-глинистые отложения мархинской свиты верхнего кембрия /отм. –220...–260 абс. м/, образующие небольшое по амплитуде валообразное поднятие в осевой части Далдынской флексуры [Алексеев, 2009]. В северо-западной части этот вал кулисообразно поворачивает на север и далее снова имеет северо-западное простирание. Поднятое северо-восточное крыло имеет угол падения 1°, опущенное юго-западное крыло более крутое, углы падения до 9°. Крылья, кроме этого, осложнены впадинами и поднятиями незначительной амплитуды. Подошвой комплекса являются плотные карбонатные породы нижней части удачининской свиты, залегающие на глубинах с отметкой -1050/-1120 м. Общая мощность водовмещающих пород в районе месторождения составляет около 1000 м. Естественный пьезометрический уровень подземных вод устанавливается на отметках от +108 до +180 абс. м, с напором над кровлей около 400 м. По результатам гидрогеологических исследований, в разрезе СВК условно выделены два водоносных горизонта, обладающих повышенными фильтрационными свойствами [Алексеев, 1987; 1988].

Характеристика коллекторов среднекембрийского водоносного комплекса

№ П/П	№ скважин	Интервал водоносного комплекса, от-до, м в абс. отметках	Общая мощность комплекса, м	Эффективная мощность комплекса, м	К пористости общ. (по ГИС), % <u>min-max</u> среднее	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
Сугуннахская структура						
1	90	<u>948,5 - 1276,0</u> -566,8/-894,3	327,5	48,5	<u>8,0 - 18,0</u> 12,2	вскрыто не на полную мощность
Северо-восточный борт Далдынской флексуры						
2	88	<u>604,4 - 686,0</u> -240,2/-321,8	81,6	18,7	<u>16,0-33,0</u> 24,4	вскрыто не на полную мощность
3	112	<u>703,6-959,0</u> -281,0/-536,4	255,4	115,2	<u>16,0-35,0</u> 25,2	вскрыто не на полную мощность
4	107	<u>519,2 - 674,0</u> -234,0/-388,8	154,8	64,4	<u>20,0 - 35,0</u> 27,4	вскрыто не на полную мощность
5	104	<u>532,0 - 729,2</u> -242,5/-439,7	197,2	73,2	<u>21,0 - 35,0</u> 31	вскрыто не на полную мощность
6	30	<u>580,8 - 685,6</u> -283,6/-388,4	104,8	17,2	<u>24,0 - 28,5</u> 27,1	вскрыто не на полную мощность
7	109	<u>538,4 - 774,0</u> -249,2/-484,8	235,6	146,6	<u>17,0 - 35,0</u> 29,2	вскрыто не на полную мощность
8	110	<u>574,0 - 977,2</u> -273,6/-676,8	403,2	121,8	<u>16,0 - 30,0</u> 24,1	вскрыто не на полную мощность
9	111	<u>626,8 - 1074,0</u> -231,2/-678,4	447,2	111,9	<u>12,0 - 33,0</u> 24,8	вскрыто не на полную мощность
10	87	<u>546,2 - 685,0</u> -229,4/-368,2	138,8	47,3	<u>2,8 - 32,0</u> 25,6	вскрыто не на полную мощность
Далдынская флексура						
11	121	<u>568,0 - 892,4</u> -272,0/-596,4	324,4	216,2	<u>14,0 - 35,0</u> 26,9	вскрыто не на полную мощность
12	122	<u>572,8 - 1434,8</u> -281,5/-1143,5	542,6	219,9	<u>17,0 - 33,0</u> 27,4	572.8-999.9м; 1319.0-1434.8м
13	123	<u>554,0 - 888,4</u> -264,2/-598,6	334,4	120,4	<u>18,0 - 25,0</u> 25,2	вскрыто не на полную мощность
14	108	<u>546,0 - 739,4</u> -215,4/-448,8	193,4	119,1	<u>2,0-33,0</u> 25,3	вскрыто не на полную мощность
15	9	<u>505,0 - 643,6</u> -218,7/-357,3	138,6	36,1	<u>6,0 - 24,0</u> 13,5	вскрыто не на полную мощность

продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5	6	7
16	28	<u>508,4 - 670,0</u> -224,5/-386,1	161,6	93,4	<u>14,0 - 32,0</u> 24,1	вскрыто не на полную мощность
17	3ц	<u>541,6 - 722,6</u> -248,7/-429,7	181,0	40,8	<u>3,4 - 25,0</u> 11,7	вскрыто не на полную мощность
18	32	<u>544,4 - 637,2</u> -254,1/-396,9	142,8	27,2	<u>13,0 - 32,0</u> 27,1	вскрыто не на полную мощность
19	2531	<u>583,4 - 1519,6</u> -200,7/-1136,9	653,4	75,8	<u>8,0 - 10,0</u> 9	583.4-996.6м; 1279.4-1519.6м
20	1СК	<u>552,3 - 1395,3</u> -201,6/-1053,1	709,8	70,6	<u>16,0 - 22,0</u> 19,6	552.3-1039.3м; 1172.5-1395.3м
21	2СК	<u>786,4 - 1337,1</u> -435,7/-986,4	376,4	13,1	<u>9,6 - 14,7</u> 11,6	786.4-1093.0м; 1267.3-1337.1м
22	106	<u>528,2 - 752,2</u> -248,1/-472,1	224,0	40,2	<u>15,0 - 29,0</u> 19,8	вскрыто не на полную мощность
23	124	<u>517,2 - 824,0</u> -218,2/-525,0	306,8	123,8	<u>20,0 - 34,0</u> 29,3	вскрыто не на полную мощность
24	125	<u>519,4 - н.свед.</u> -216,6/нет свед	н.уст.	74,6	<u>24,0 - 42,0</u> 32,6	
25	126	<u>520,0 - 866,8</u> -215,8/-562,6	346,8	149,7	<u>21,0 - 34,0</u> 29,9	вскрыто не на полную мощность
26	86	<u>512,0 - 698,0</u> -244,5/-430,5	186,0	143,2	<u>15,5 - 25,0</u> 22,2	вскрыто не на полную мощность
Юго-западный борт Далдынской флексуры						
27	101	<u>922.4 - 959.0</u> -479.4/-516.0	36.6	4.7	<u>17.0 - 20.0</u> 18.2	Зона Октябрьского разлома, вскрыто не на полную мощность.
28	102	<u>913.0 - 1077.4</u> -473.8/-638.2	164.4	53.2	<u>7.0-15.0</u> 9.2	
29	324	<u>679.2 - 750.0</u> -304.4/-375.2	70.8	53.6	<u>11.0 - 19.0</u> 13.5	вскрыто не на полную мощность
30	113	<u>830.4 - 1298.2</u>	467.8	12.8	<u>12.0 - 24.0</u>	вскрыто не на полную мощность

Нижнекембрийский водоносный комплекс (НВК) вскрыт в районе работ гидрогеологическими скважинами №№ 2531, 703, 520 ниже глубины 1350–1450 м и приурочен преимущественно к трещинно-кавернозным коллекторам в доломитах нижней пачки удачинской свиты ($C_{1-2} ud^1$) и окремненным пористо-кавернозным доломитам кумахской свиты ($C_1 km$) [Колосов, Алеекеев, 1988]. Кровлей водоносного горизонта являются органогенно-обломочные известняки удачинской свиты (отметки от -1100 м. абс.), а подошвой - водорослевые известняки эмьяксинской свиты ($C_1 em$) (отметки от -1330 до -1420 м. абс.). Пьезометрический уровень в скважинах установился на глубинах 200–227 м.

Суммарная эффективная мощность пластов-коллекторов достигает 90,0 м. Водоносный комплекс в районе месторождения характеризуется высокими фильтрационными свойствами. Коэффициент водопроницаемости до 50–60 м²/сут (табл. 2.5) [Янников и др., 2022].

Таблица 2.5

Характеристика коллекторов нижненекембрийского водоносного комплекса

№ п/п	№ скважин	Интервал Водоносного комплекса, от-до, м в абс. отметках	Общая мощность, м	Эффективная мощность комплекса, м	К общ (по ГИС), % <u>min-max</u> среднее	Примечание
Сугуннахская структура						
1	90	<u>1433,0 - 1650,0</u> -1051,3/-1268,3	217	164	<u>23,0 - 35,0</u> 29,1	вскрыто не на полную мощность
Далдынская флексура						
2	122	<u>1424,0 - 1548,4</u> -1132,7/-1257,1	124,4	73,2	<u>23,0 - 35,0</u> 29,1	вскрыто не на полную мощность
3	2531	<u>1481,4 - 2226,8</u> -1142,0/-1887,4	741,0	178,4	<u>4,0 - 17,0</u> 12,0	
4	1СК	<u>1394,3 - 1628,5</u> -1074,3/-1308,5	234,2	21,3	-	вскрыто не на полную мощность

Воды комплекса представлены крепкими рассолами хлоридного кальциевого состава с минерализацией до 420 г/дм³, содержат до 0,9 м³/м³ растворенных азотно-углеводородных и углеводородных газов.

Верхнепротерозойский водоносный комплекс (PR³st) вскрыт в районе месторождения двумя нефтегазопромышленными скважинами (703, 2531) в интервале глубин 2260–2309 и приурочен к карбонатно-глинистым кремнеземным отложениям. В целом породы свиты можно рассматривать как водоупорные. По результатам опробования пластоиспытателем КИИ-95 в интервале 2261–2304 м водопритоки достигли 33 м³/сут. По данным ГИС значения коэффициента открытой пористости пород составляют менее 6,7 %, а гранулярной – 3 %. Ниже до фундамента выраженные коллекторы в осадочных отложениях отсутствуют. Подземные воды комплекса представлены весьма крепкими хлоридными рассолами с минерализацией свыше 400 г/дм³. Водорастворенные газы и гидравлическая взаимосвязь с другими комплексами не изучены.

Обводнённые зоны кимберлитов – кимберлитовые тела

непосредственно контактируют с водовмещающими коллекторами ВВК, СВК и НВК, и часто формируют природные напорные системы. Необходимо отметить, что, как правило, обводнённость кимберлитов часто коррелируется с коллекторами вмещающих пород в этих же отметках [Калинин и др., 2002].

Фильтрационные свойства вмещающих пород контролируются широко развитой системой глубинных разломов, зоны динамического воздействия которых имеют ширину от 300 до 600–700 м и характеризуются повышенными (на порядок и более) фильтрационными свойствами [Иванов и др., 2018]. Глубинные разломы также являются зонами внедрения интрузивных тел основного состава, образующих дайки и силы [Егоров, 1985]. Сложное структурно-тектоническое строение территории определяет формирование в пределах общей гидродинамической системы, отдельных зон и участков, особенности гидрогеологических условий которых требуют отдельного рассмотрения.

2.1. Криогидрогеологические условия Октябрьского разлома в пределах участка «Киенгский»

Необходимость криогидрогеологических исследований в пределах участка «Киенгский» продиктована его использованием в период 2001–2013 гг. для закачки дренажных рассолов рудника «Удачный» [Янников, 2021ф, 2021д ф; Янников и др., 2022а]. Объектом изучения выступал техногенный водоносный горизонт, сформировавшийся в результате закачки в толщу ММП 12,9 млн м³ дренажных рассолов. В настоящее время участок «Киенгский» состоит из 65 скважин (рис. 2.3).

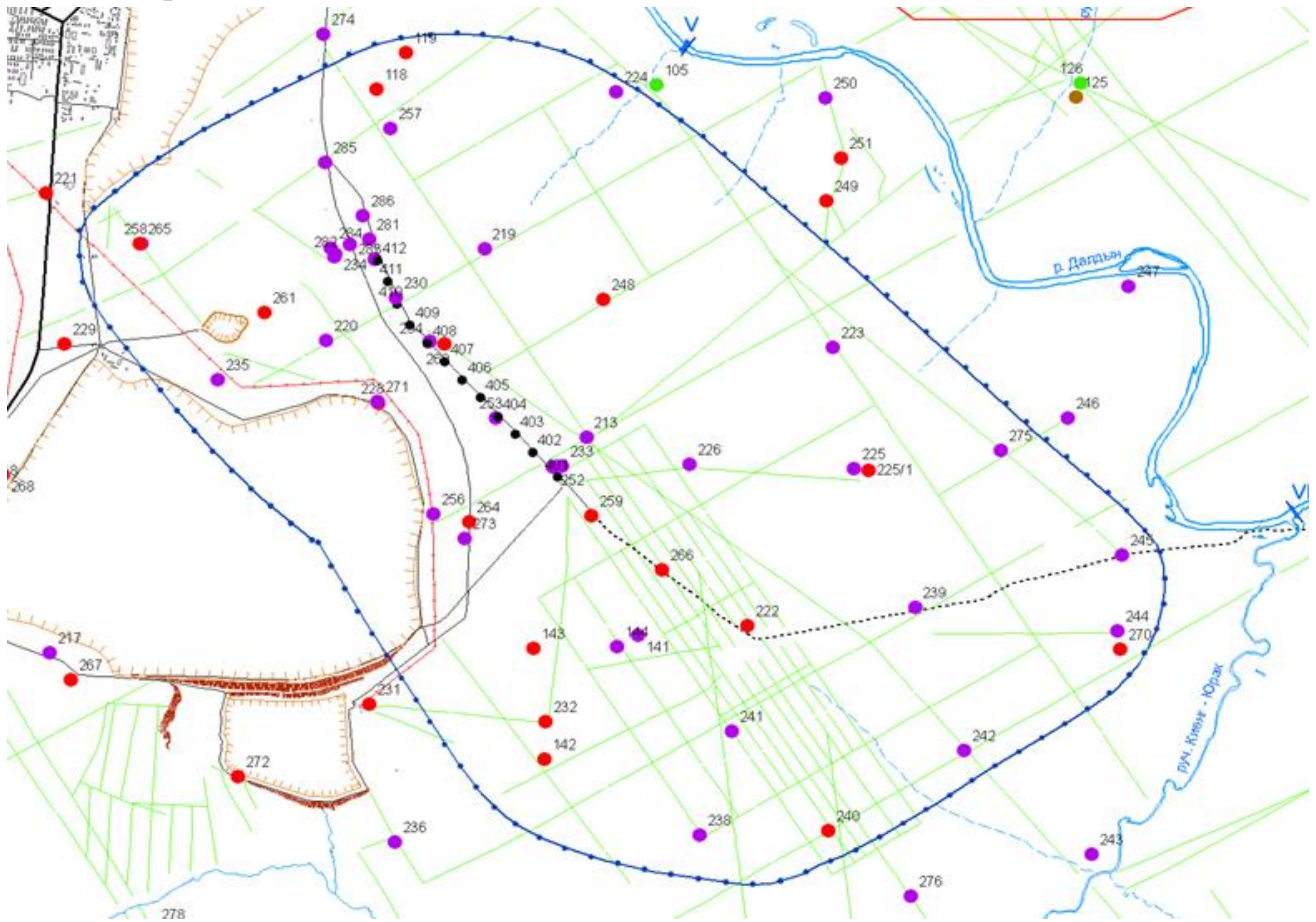


Рис. 2.3 Схема участка закачки «Киенгский» (составлена по материалам Мирнинской ГРЭ и Удачинского ГОКа).

Глубина скважин составляет 250–300 м. По назначению скважины делятся на закачные (8 шт.) и наблюдательные (57 шт.). Результатом выполненного геолого-гидрогеологического сопровождения бурения скважин было полученное значительное количество кернового материала, который позволил выполнить детальную характеристику криогидрогеологических и геологических условий в пределах участка «Киенгский». Кроме этого, бурение значительного количества скважин на ограниченной площади с выполнением достаточно большого объема каротажа дало возможность выполнить корреляцию разрезов.

В структурно-тектоническом отношении участок приурочен к зоне динамического воздействия Октябрьского глубинного разлома. В пределах участка сформирована система оперяющихся разломов, имеющих подчинённое положение [Мироненко и др., 1995]. Плановое расположение выявленных разрывных нарушений приведено на рисунке 2.4.



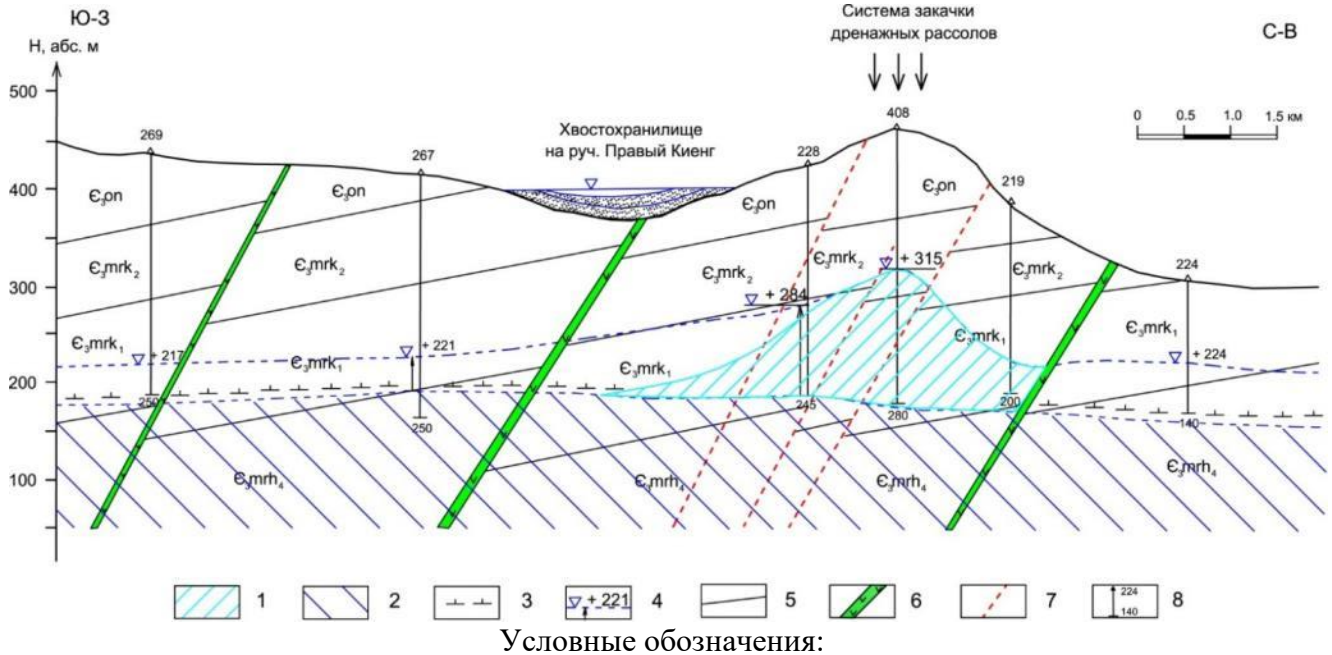
Условные обозначения:

- 1 – участок закачки; 2 – карьер Удачный; 3 – ось Далдынской флексуры; 4 – кимберлитовая трубка; 5 – дайки долеритов, заполняющие разломы Вилюйско-Котуйской тектонической зоны; 6 – Силигино-Мархинский разлом фундамента; 7 – зона Октябрьского разлома; 8 – нарушения Далдыно-Оленекской кимберлитоконтролирующей зоны

Рис. 2.4 Структурно-тектоническая схема участка закачки «Киенгский» (составлена по материалам Мирнинской ГРЭ и Удачинского ГОКа).

Необходимо отметить, что в пределах участка выделяется ряд кимберлитконтролирующих разрывных нарушений для таких убогоалмазных трубок как «Рот-Фронт», «Украинская», «Якутская», «Геофизическая» и «Молодежная», формирующих дополнительную «наведенную» емкость толщи ММП [Молчанов и др., 1993; Янников, 2021а ф].

В геолого-стратиграфическом разрезе изучаемой толщи участка принимают участие палеозойские осадочные образования: карбонатно-терригенные отложения онхойюряхской, моркокинской и мархинской свит (кембрийская система). Осадочные породы прорываются ультраосновными и основными секущими телами кимберлитовой (D_3-C_1) и траптовой (P_2-T_1) формаций (рис. 2.5). Ультраосновной магматизм представлен кимберлитовыми трубками и жилами, а основной – дайками и штоками [Брахфогель, 1984].



1 – зона распространения техногенного водоносного горизонта в толще ММП; 2 – подмерзлотный водоносный горизонт; 3 – подошва ММП; 4 – пьезометрический уровень подмерзлотного горизонта, стрелка – напор, цифра – абсолютная отметка, м; 5 – стратиграфические границы свит; 6 – дайки долеритов; 7 – предполагаемые тектонические нарушения; 8 – гидрогеологическая скважина: сверху – ее номер, снизу – глубина, м

Рис. 2.5 Схематический криогидрогеологический разрез через «Киенгский» участок закачки (составлена по материалам Мирнинской ГРЭ и Удачинского ГОКа).

Учитывая целевое назначение участка, характеристика структурных подразделений геологического строения приводится подробно, и особое внимание уделяется отложениям толщи ММП, обладающим коллекторскими свойствами [Дроздов и др, 1988а ф; Гольдберг и др., 1994].

На участке «Киенгский», по результатам проведенных полевых и лабораторных исследований керна, опытно-фильтрационных работ и ГИС, породы, обладающие наилучшими коллекторскими свойствами, залегают в 214–273 м от дневной поверхности. Интервал коллекторов представлен трещиноватыми доломитами и известняками моркокинской свиты ($Є_3\text{ mrk}$), ниже рассмотрим геологический разрез участка «Киенгский», в интервале залегания верхнекембрийских пород:

Мархинская свита ($\text{Є}_3 \text{mr}$), относящаяся к нерасчеленным в пределах участка аюксанскому и сакскому ярусам. Разрез свиты изучен по целому ряду гидрогеологических скважин. Залегает со стратиграфическим несогласием на отложениях известняково-доломитовой толщи. Свита сложена известняками, доломитами, мергелями и аргиллитами. По характеру ритмичности, мощности переслаивающихся разновидностей пород, характеру кривых каротажных диаграмм, насыщенности битумом в составе свиты с определенной долей условности выделяется четыре пачки.

Первая пачка ($\text{Є}_3 \text{mr}_1$) сложена преимущественно доломитами, известковистыми доломитами с маломощными прослоями известняков, глинистых известняков, мергелей и аргиллитов. Мощность пачки колеблется от 80 до 95 м.

Вторая пачка ($\text{Є}_3 \text{mr}_2$) отличается от первой более высоким содержанием известняков и мергелей, хотя преобладающим типом пород являются зеленовато-серые доломиты. Доломиты и известняки часто глинистые и битуминозные. Граница с вышележащей пачкой проводится в подошве плотных коричневато-бежевых пятнисто-полосчатых доломитов с прослоями мелкокристаллических и оолитовых известняков. Эти породы и отличаются повышенной кавернозностью, пористостью, битумонасыщенностью. Они аналогичны маркирующему горизонту в основании моркокинской свиты. Мощность пачки колеблется от 75 до 115 м.

Третья пачка ($\text{Є}_3 \text{mr}_3$) характеризуется ритмичным переслаиванием коричневато-серых доломитов и известняков, прослоями битуминозных, и зеленовато-серых мергелей с линзовидными прослоями глинистых известняков, доломитов, плоскогалечных конгломератов. В отличие от нижележащих отложений, значительно увеличивается количество и мощность (4-6 м) прослоев коричневых кавернозных нефтенасыщенных доломитов и известняков, часто оолитовых. Мощность пачки колеблется от 145 до 175 м.

К отложениям второй и третьей пачек приурочен верхнекембрийский водоносный горизонт (ВВК) мощностью до 200 м.

Четвертая пачка ($\text{Є}_3 \text{mr}_4$) сложена плотными известняками и доломитами, ритмически чередующимися с мергелями, аргиллитами, глинистыми известняками и доломитами. Присутствуют редкие прослои строматолитовых и обломочных доломитов и известняков, плоскогалечных конгломератов. В отличие от подстилающих образований, здесь наблюдаются более мощные прослои мергелей и аргиллитов. Мощность пачки колеблется от 115 до 140 м.

Общая мощность мархинской свиты на участке проектируемых работ до 442 м.

Моркокинская свита ($E_3 \text{ m}rk$) аксайского яруса. Отложения моркокинской свиты имеют повсеместное распространение, на дневную поверхность выходят на склонах и в днищах речных долин. Обнаженность свиты плохая, естественные обнажения отсутствуют. Разрез ее изучен по керну многочисленных скважин, а также в карьере «Удачный». Представлен он в основном серыми, желтовато-серыми, коричневатыми известняками и доломитами, реже известковыми песчаниками и алевролитами. Довольно часты линзовидные прослои известняковых конгломератов и гравелитов, оолитовых и строматолитовых известняков. Для свиты в целом характерны признаки мелководья: знаки волновой ряби, следы течения и оползания осадка, глиптоморфозы по каменной соли, трещины усыхания, гнезда, желваки и прожилки гипса, редко – стяжения кремней. По литологическим особенностям свита подразделяется на две подсвиты.

Нижняя подсвита ($E_3 \text{ m}rk_1$) сложена преимущественно глинистыми и алевролитистыми известняками, доломитами, в меньшей мере мергелями и алевролитами. Более терригенный состав (песчаники, алевролиты) и появление редких прослоев белых афанитовых доломитов, не встречавшихся в разрезе мархинской свиты, являются отличительными особенностями нижнеморкокинской подсвиты. Мощность подсвиты колеблется от 95 до 120 м.

Верхняя подсвита ($E_3 \text{ m}rk_2$) существенно отличается от нижней по появлению и преобладанию в разрезе массивных доломитов, сокращению количества прослоев известняков и увеличению песчаников. Подсвита сложена массивными глинисто-алевролитистыми доломитами и известняками с прослоями и линзами оолитовых, псевдооолитовых и строматолитовых их разновидностей. Мощность подсвиты колеблется от 55 до 75 м.

Общая мощность свиты на участке проектируемых работ 330 м.

Онхойюряхская свита ($E_3 \text{ on}$) батырбайского яруса. Свита сложена тонкоплитчатыми глинистыми, реже алевролитистыми, доломитами, известняками и мергелями, преобладающими в нижней части разреза. Сравнительно редки водорослевые и псевдооолитовые известняки, единичны линзовидные прослои песчаников, известняковых конгломератов и алевролитов. Отличительными особенностями свиты являются повсеместная пестроцветная окраска и присутствие значительного количества глинистых пород. В составе свиты выделяются две пачки.

Нижняя пачка ($E_3 \text{ on}_1$) отличается широким распространением красновато-бурых и зеленовато-серых доломитовых мергелей, доломитистых известняков и глинистых доломитов. Мощность отдельных прослоев колеблется от 0,2 до 0,7 м. Встречаются отдельные прослои плоскогалечных конгломератов (0,05–0,15 м), повторяющиеся через каждые 4–5 м разреза, а также псевдооолитовых

известняков и строматолитовых доломитов. Мощность пачки колеблется от 57 до 85 м.

Верхняя пачка ($E_3 \text{ on}_2$) в отличие от нижней содержит значительно меньшее количество пестроокрашенных мергелей и характеризуется появлением прослоев терригенных пород – кварцевых алевролитов, песчаников с карбонатным цементом, мергелей с редко рассеянным гравием карбонатных пород. Она сложена в основном плотными часто огипсованными желтовато- и зеленовато-серыми доломитами, нередко алевритистыми. Мощность верхней пачки колеблется от 47 до 70 м.

Мощность свиты от 104 до 139 м, увеличивается в юго-западном направлении. Свита согласно залегает на моркокинской и согласно перекрывается олдондинской свитой на водораздельных участках.

Перед началом работ по закачке дренажных вод в экологически безопасные интервалы ММП сотрудниками Института мерзлотоведения СО РАН были проведены исследования для фиксации естественного геотермического фона на участке, которые показали, что температура горных пород изменяется от $-0,93$ до $-5,9$ °С [Климовский, Устинова, 1962; Фотиев, 1978; Алексеев, Борисов, 1996; Алексеев и др., 2002, 2002а; Alexeev, Borisov, 1995, 2000].

В соответствии с общепринятой классификацией в пределах участка выделяются три типа подземных вод: надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные [Овчинников, 1955; Катасонов, 1972; Мельников и др., 1984; Мельников, Спесивцев, 2000]. Криолитозона на участке «Киенгский» до начала эксплуатации в интервалах моркокинской и онхойюряхской свит характеризовалась температурами составляющими $-3,5/-4,8$ °С и имела двухъярусное строение:

- верхний ярус был представлен непосредственно толщей ММП (рис. 2.6) и содержал различные виды льда (жильный, поровый и др.) [Мерзлотно-гидрогеологические условия ... , 1984].

- нижний ярус был сложен охлажденными до отрицательных температур породами мархинской свиты, поры и трещины которых заполнены рассолами верхнекембрийского водоносного комплекса с температурами ниже 0°С.

Мощность верхнего яруса в пределах участка от 180 до 290 м, она коррелируется с гипсометрическим уровнем – при уменьшении высотной отметки мощность мерзлого слоя уменьшается и наоборот. Мощность нижнего яруса (охлажденных пород) составляет не менее 300–350 м.



Рис. 2.6 Трещины, каверны, заполненные льдом, фиксируемые в керне скважин.

Наличие большого количества наблюдательных скважин и регулярные ГИС позволили оценить распределение температур в пределах участка и построить карту температурного поля (рис.2.7).

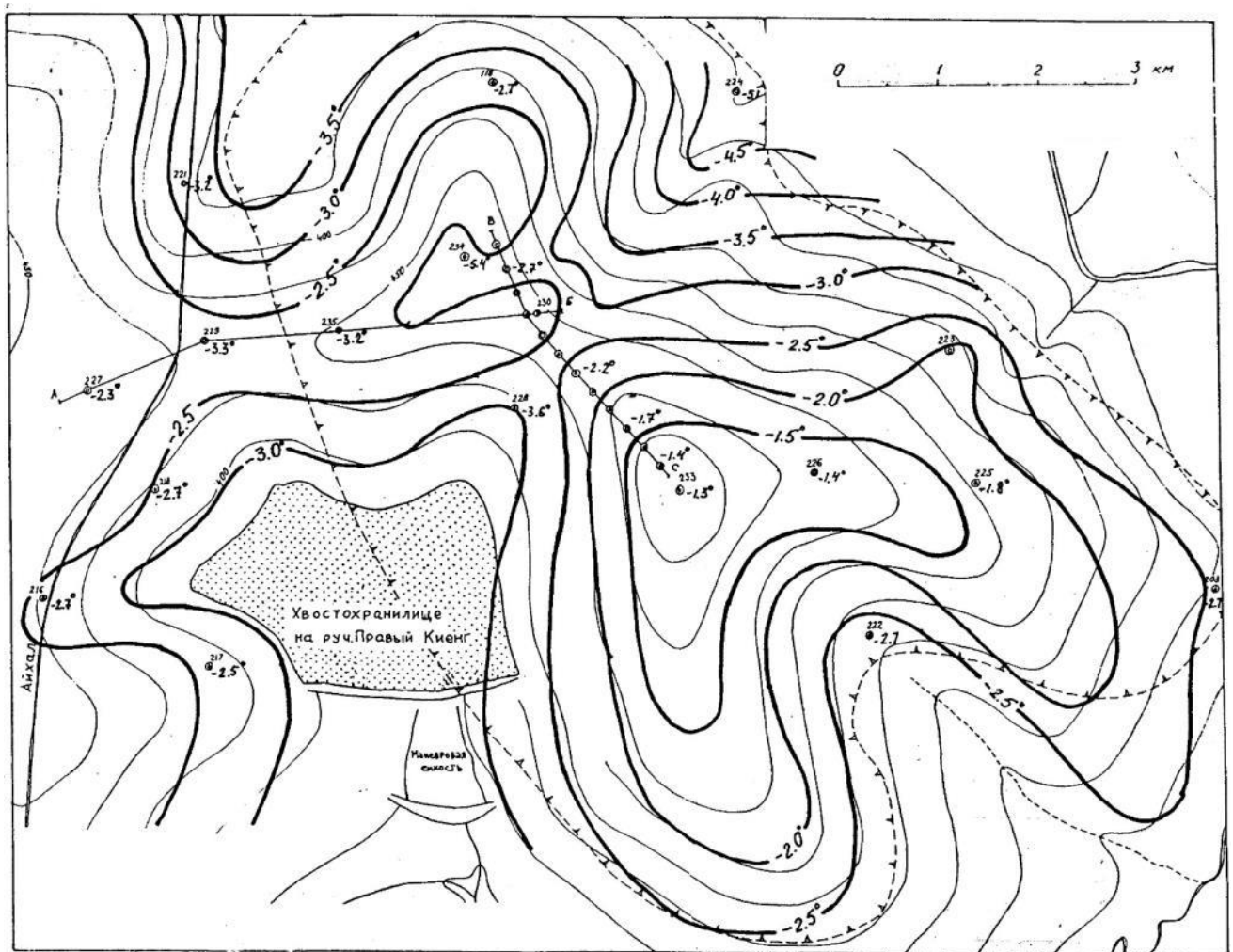


Рис. 2.7 Карта температурного поля территории исследования.

Режимные наблюдения, проведенные в период с 2012 по 2022 гг., показали, что температура горных пород в интервалах поглощений за время эксплуатации участка изменилась от $-2,28$ до $-5,0$ °С [Бельдий и др., 2018ф, 2019ф]. Таким образом, проведенным циклом наблюдений установлено, что на уровне рассолопоглощающих интервалов толщи ММП произошло общее снижение температур горных пород на $1,5-2,5$ °С. Это связано, главным образом, с направлением миграции закачиваемых рассолов в криогенных толщах пород, а также с характером теплопереноса на участке закачке [Фотиев, 1971; Кудрявцев и др., 1972; Алексеев, Дроздов, 1985; Готовцев и др., 1992; Сердюков и др., 1966; Алексеев, Пиннекер, 1997; Алексеев, Алексеева, 2000б; Хархордин, 2003; Pinneker, Alekseew, 1997, 2000; Pinneker et.al. 1989, 2000]. Дополнительным фактором понижения температуры интервалов поглощения также выступил существующий отрицательный температурный баланс атмосферного воздуха в районе, т.к. за счёт закачных и наблюдательных скважин происходил конвективный тепло- и массоперенос атмосферного воздуха [Фукс, 1976; Климовский, Готовцев, 1983; Геологическая эволюция ... , 2007].

При анализе термограмм, полученных в 2012–2022 гг., в результате выполнения термометрических замеров по скважинам режимной сети, была учтена их принадлежность к водоносным комплексам участка, а также временная периодизация диаграмм. Все изменения рассматривались от даты прекращения закачки на данном участке. Сравнивая диаграммы, полученные по наблюдательным скважинам, можно отметить тенденцию к выравниваю температур в интервале техногенного водоносного горизонта по большинству скважин и постепенной стабилизации в районе от -2 до -4 °С (рис. 2.8).

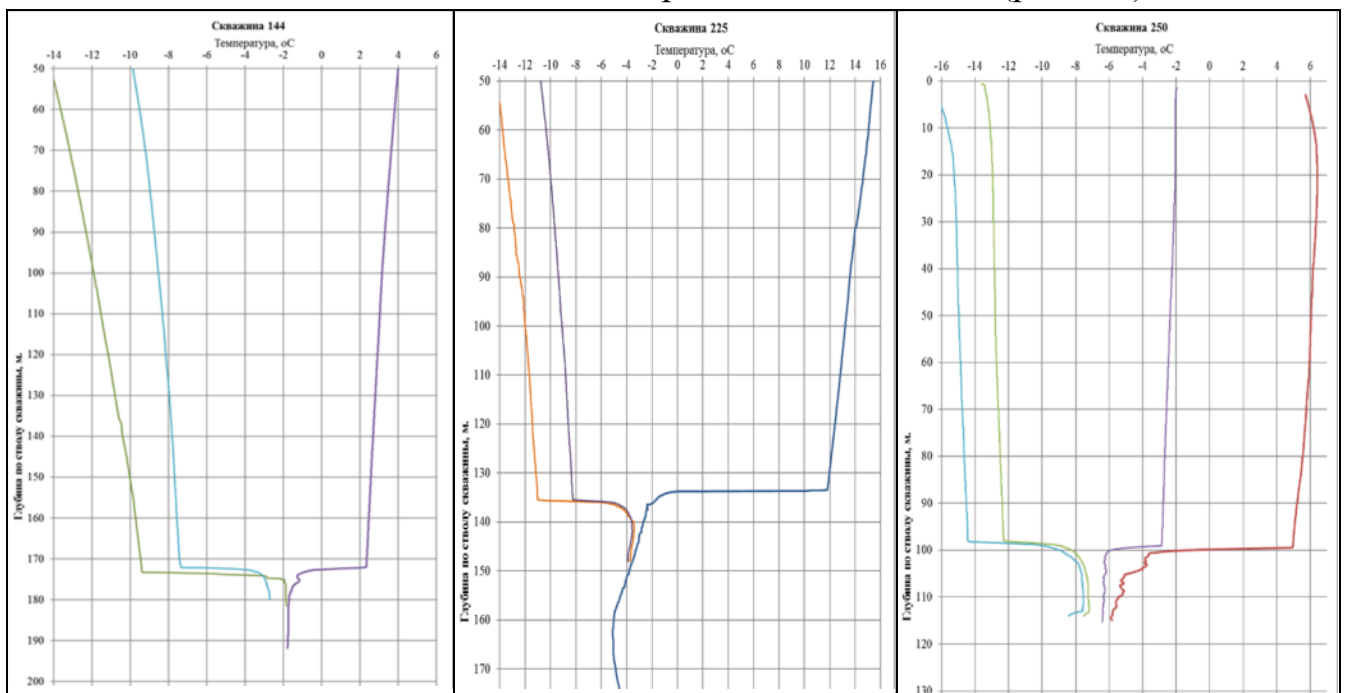


Рис. 2.8 Термограммы по скважинам участка «Киенгский».

В ходе проводимых в 2012–2022 гг. исследований достоверно установлено, что после прекращения закачки на участке изменения температурных условий стали крайне незначительны, по причине отсутствия воздействия от закачки и инертности созданной природно-техногенной системы.

Формирование техногенного водоносного горизонта в пределах участка «Киенгский» началось одновременно с его освоением, т.е. с проведения малообъёмных опытных закачек в 2001 г. Последующая опытно-промышленная эксплуатация участка, начавшаяся в 2003 г., привела к интенсификации его дальнейшего формирования и трансформации. На участке «Киенгский» было пробурено 12 закачных скважин глубиной 280 м, расположенных на расстоянии 250 м друг от друга и ряд наблюдательных скважин, оборудованных на разные интервалы криогенного яруса (от 100 до 300 м), а также для наблюдений за верхнекембрийским подмерзлотным водоносным горизонтом (рис. 2.3). Во время закачки дренажных рассолов, как правило, одновременно использовалось 4-5 скважин. В течение всего периода эксплуатации участка закачка осуществлялась в безнапорном режиме с поддержанием уровней в формирующемся техногенном водоносном горизонте на определенных экологически безопасных отметках. Закачиваемые на участке рассолы изначально распространялись по площади, однако, впоследствии процесс взаимодействия закачиваемых рассолов с подошвенной толщей ММП привёл к формированию зон вертикальной фильтрации [Великин и др., 2005; Янников и др., 2023]. Такое взаимодействие сформированного техногенного водоносного горизонта с верхнекембрийским водоносным комплексом вполне закономерно (т.к. предсказывалось ранее Алексеевым С.В., Алексеевой Л.П. и Дроздовым А.В. [Алексеев, Алексеева, 1997, 1998, 2003; Дроздов, Алексеев, 1991; Дроздов, Готовцев, 1992; Дроздов, 2005; Alexeev et.al., 2002; Borisov, Alexeev, 1994. 1998, 2000; и др.]) и не вызывает опасений при условии поддержания уровней в ВВК ниже уреза речной сети [Черкасов, Синкевич, 1995; Пиннекер, 1999; Пиннекер, Алексеев 1996; Грабовников и др., 1995; Гензель, 2002].

Процесс промышленной эксплуатации участка «Киенгский» закончился в 2013 г. Последующие 8 лет участок не эксплуатировался. После прекращения закачки в пределах участка из-за описанных ранее процессов вертикального массопереноса, характерного для слабопроницаемых сред [Оловин, 1993], произошло общее понижение уровней экранированного техногенного водоносного горизонта. Среднегодовая минерализация закачиваемых вод в скважины участка «Киенгский» в период его эксплуатации изменялась незначительно в пределах 300–350 г/дм³.

Гидрохимический контроль, направленный на оценку изменения качественного состава закачиваемых дренажных рассолов в результате

взаимодействия их с вмещающими породами структуры участка закачки и смешения с талыми водами подземных льдов, проводился по закачным скважинам участка с начала его эксплуатации.

Проводимые гидрохимические исследования по линии закачных скважин показали, что распределение минерализации в рамках техногенного водоносного горизонта имеет пространственно-временную трансформацию. Вблизи центральной части участка прослеживается плотностная дифференциация рассолов. Следует подчеркнуть, что кардинальных изменений в составе вод техногенного горизонта после остановки закачки и до настоящего времени не отслежено, происходит только снижение минерализации, однако, за счет криогидрохимических преобразований в системе «порода-рассол» возможны незначительные изменения в исходном катионно-анионном уже закачанных вод [Пиннекер, Писарский, 1978; Ершов и др., 1995,1997; Чижов и др., 1990; Шварцев, Букаты; 1995; Пиннекер и др., 1998].

Процесс разбавления закачанных ранее высокоминерализованных вод происходит повсеместно. Если рассматривать характер распределения вод разной минерализации в массиве на участках, то можно проследить следующую картину: наиболее концентрированные рассолы при латеральном распределении обнаруживались только в самом центре участка. По мере удаления от эксплуатационных скважин происходит закономерное уменьшение общей минерализации закачанных вод.

При закачке рассолов в мерзлых толщах процесс плавления льдов и последующее разбавление закачанных стоков идет достаточно интенсивно и зависит от многих факторов [Пиннекер и др., 1987; Ершов и др., 1997; Алексеев и др., 2000; Дроздов, 2007]. Если оценивать по солевому балансу разбавление всей общей массы закаченных дренажных рассолов ($M \approx 300 \text{ г/дм}^3$) в мерзлые толщи участка, то во взаимодействие вступило свыше 50 млн м^3 вод, находящихся в твердой фазе. По солевому балансу закачанных рассолов и минерализованных вод в техногенном водоносном горизонте, а также по его размерам можно рассчитать льдистость пород и прогнозировать эффективную емкость резервуара в криогенном массиве.

Распределение минерализации распространенных вод в массиве ММП по глубине и в плане неоднородное [Пиннекер, Шварцев, 1996; Гунин, 2006]. Результаты анализов по гидрохимическому опробованию эксплуатационных скважин отражены в текстовом приложении 11. Химический состав воды техногенного горизонта на участке характеризуется как хлоридный магниевый-кальциевый. Формула солевого состава имеет следующий вид:

$$M_{67-348}ph_{3,5-5,0}\gamma_{1,05-1,253} \frac{Cl_{100}}{Ca_{50-61}Mg_{17-36}(Na + K)_{14-24}};$$

$$\frac{Ca}{Mg} 1, -3,6; \frac{Na + K}{Cl} 0,14 - 0.24$$

Из микроэлементов в водах содержится Br, Sr, Li, и Rb (текст. прил. 11). Концентрация Br варьируются в пределах 491–3662 мг/дм³. Максимальные значения отмечаются в закачных скважинах, расположенных в центре полигона. С удалением от центральной части содержание Br уменьшается до 491 мг/дм³. Содержания Sr изменяются от 212 до 1206 мг/дм³ с минимальными значениями на удалении от центра закачки. Литий варьируется в пределах 26–184 мг/дм³. Содержания Rb изменяются от 0,7 до 15,7 мг/дм³. Изменчивость Li и Rb прямопропорциональна содержанию Br и напрямую зависит от минерализации распространенных вод [Алекин, 1970].

Химический состав техногенных вод в ММП, отобранных из скважин Киенгского полигона в течение отчётного периода (2012–2022 гг.), характеризуется как хлоридный магниево-кальциевый. Формула среднего солевого состава вод по участку имеет следующий вид:

- Центральная часть участка (скв. 144, 213):

$$M_{34}ph_{5,0}\gamma_{1,026} \frac{Cl_{100}}{Ca_{51}Mg_{32}(Na + K)_{17}}; 1,57; \frac{Na + K}{Cl} 0.17$$

- юго-западная часть участка (скв. 227, 236, 237):

$$M_{42}ph_{4,8}\gamma_{1,032} \frac{Cl_{99}SO_1^4}{Ca_{50}Mg_{29}(Na + K)_{21}}; \frac{Ca}{Mg} 1,76; \frac{Na + K}{Cl} 0.22$$

- северная часть участка (скв. 224):

$$M_{88}ph_{5,0}\gamma_{1,066} \frac{Cl_{99}SO_1^4}{Ca_{52}Mg_{29}(Na + K)_{19}}; \frac{Ca}{Mg} 1.8; \frac{Na + K}{Cl} 0.19$$

- восточная часть участка (скв. 223):

$$M_{44}ph_{5,3}\gamma_{1,034} \frac{Cl_{98}SO_2^4}{Ca_{54}Mg_{32}(Na + K)_{14}}; \frac{Ca}{Mg} 1.7; \frac{Na + K}{Cl} 0.14$$

- юг-юго-восточная часть участка (скв. 241, 242, 244, 245):

$$M_{53}ph_{5,0}\gamma_{1,044} \frac{Cl_{99}SO_1^4}{Ca_{52}Mg_{28}(Na + K)_{20}}; \frac{Ca}{Mg} 1.91; \frac{Na + K}{Cl} 0.21$$

Природные подземные воды верхнекембрийского водоносного комплекса преимущественно представлены хлоридными натриево-магниевыми-кальциевыми рассолами с минерализацией до 250 г/дм³. В анионном составе содержания хлора в пределах 98–99 %-экв., сульфат-иона до 1 %-экв. Катионный состав рассолов

ВВК вблизи участка закачки практически не отличается от ранее исследованных. Среди катионов преобладает кальций, его относительное содержание достигает 40 %-экв, относительное содержание магния до 27–30 %-экв. и содержание (Na+K) – 30–33 %-экв.

Для рассолов ВВК характерны низкие значения отношений $r_{Na/rCl}$ (0,14–0,33), Cl/Br , что свидетельствует о высокой степени их метаморфизации [Зайцев, 1986]. Формула солевого состава рассолов ВВК имеет следующий вид:

$$M_{до\ 250}ph_{5,0}\gamma_{1.185} \frac{Cl_{99}SO_4^4}{Ca_{40}Mg_{27-30}(Na+K)_{30-33}}; \frac{Ca}{Mg} 3,5; \frac{Na+K}{Cl} 0.33$$

По химическому составу техногенных вод, отобранных из наблюдательных скважин участка, прослеживается явная дифференциация от центра к периферии, вызванная разбавлением закачанных ранее рассолов. Минерализация техногенных вод закономерно уменьшается от центра к периферии. Не разбавленные рассолы в оконтуривающих и периферийных скважинах не обнаружены. Таким образом, отсутствие химических аномалий в плане, позволяет делать вывод о планомерном распространении и распределении закачанных ранее рассолов, от центра к периферии, в толще ММП. Такое распространение является наиболее благоприятным и позволяет в полной мере использовать все имеющиеся коллекторы участка.

Расчеты фильтрационных показателей коллекторов техногенного водоносного горизонта и оценка миграционных показателей закачиваемых рассолов выполнялись, главным образом, по данным фактического вскрытия минерализованных вод в криогенных отложениях и динамике изменения пьезометрической поверхности. Рассматривая полученные данные (табл. 2.6), справедливо сделать вывод, что основное направление массопереноса связано с региональной тектонической нарушенностью пород мерзлого яруса, контролируемой траповыми интрузиями, и об относительно стабильной динамике растекания закачиваемых рассолов по основному и сопутствующим направлениям трещинных дислокаций. Действительная скорость миграции закачиваемых вод, полученная по результатам проведенных работ и гидрогеологических исследований, варьируется в пределах 1,97–6,63 м/сут. Исходя из представленной ранее информации, можно справедливо говорить о том, что в результате закачки рассолов на «Киенгском» участке в толще ММП образовался техногенный водоносный горизонт. Для прогнозирования динамики дальнейших изменений объекта изучения были использованы методы моделирования.

Миграционные и фильтрационные параметры техногенного водоносного горизонта

№ п/п	№ скважины	Плановое местоположение	Действительная скорость миграции рассола, м/сут	Коэффициент водопроницаемости, м ² /сут
1	248	СВ	3,72	53,9
2	226	ЮВ	1,97	48,0
3	257	С	3,33	48,3
4	222	ЮВ	2,93	106,3
5	225	ЮВ	6,63	31,9
6	236	Ю	3,37	124,8
7	241	ЮВ	3,13	164,7
8	272	ЮЗ	3,29	80,2
9	242	ЮВ	4,89	169,8
10	245	ЮВ	4,96	177,1

Построение гидродинамической модели эксплуатации узла закачки шахтных и дренажных вод рудника «Удачный» на участке «Киенгский» позволило оценить, как текущую ситуацию в сформированном техногенном комплексе, так и спрогнозировать дальнейшие изменения. В основу калибровки модели были положены данные режимных наблюдений за уровнем режимом водоносных горизонтов и расходами закачки дренажных рассолов на участке и прилегающей территории. Решение обратной задачи выполнялось методом целенаправленного подбора параметров (методом итераций), при котором учитывались представления о геолого-гидрогеологических особенностях водоносных горизонтов, данные фильтрационных исследований водопроницаемости пород и их емкостных свойств.

По результатам моделирования прогнозные отметки рассолов по линии закачных скважин (суммарный расход закачки рассолов 7200 м³/сут.) практически достигают экологически безопасных уровней (+400 м абс.) на конец 2033 г. Остаточная емкость «Киенгского» участка закачки рассолов на конец 2021 г., без учёта параметра перетекания рассолов из техногенного горизонта в ВВК, составляет не менее 2,4 млн м³, а с учётом среднего исчисленного перетекания не менее 4,7 млн м³.

При построении гидродинамической модели на «Киенгском» участке рассматривается техногенный водоносный горизонт в толще ММП совместно с ВВК, не учитывая влияния более глубоких водоносных комплексов. В естественных условиях в нижней части разреза сформировался интервал непроницаемых ММП, который служит верхним водоупором для нижележащего ВВК, приуроченного к отложениям мархинской свиты. В

верхней части разреза ВВК минерализация рассолов изначально составляет 30-50 г/л. В силу гравитационной дифференциации и залегания ММП в кровле ВВК на границе «лед-вода» образовалась пленка пресной, неагрессивной ко льду, воды. При закачке рассолов в ММП рассолы достигают условно водоупорного слоя, и вследствие их агрессивности ко льду нарушается сплошность водоупорного интервала в кровле ВВК и формируется гидродинамическая связь ВВК и техногенного водоносного горизонта. Данный факт подтвержден опытом эксплуатации «Киенгского» и «Левобережного» участков закачки.

В связи с этим при решении задач о прогнозе распространения закачиваемых рассолов и заполнения емкости рассматриваемого участка необходимо учитывать переток рассолов из ММП в ВВК, то есть рассматривать толщу ММП совместно с верхнекембрийским водоносным комплексом.

Взаимосвязь подмерзлотных водоносных горизонтов осуществляется только в пределах рудника «Удачный» [Янников, 2023], где в настоящее время ВВК и СВК вскрыты открытыми и подземными горными выработками [Алексеев и др., 2018; Alexeev et.al., 2020]. Анализ распространения и характера взаимосвязи подмерзлотных водоносных комплексов позволяет при решении задач удаления дренажных рассолов в толщу ММП не учитывать влияние среднекембрийского и более глубоких водоносных комплексов на режим подземных вод техногенного горизонта и ВВК.

Верхнекембрийский водоносный комплекс при моделировании рассматривался как отдельный слой, в интервале -100/+150 м. Были выделены зоны повышенной проводимости вдоль Октябрьского разлома, в центральной и юго-западной части участка «Киенгский» [Янников и др., 2021].

Толща ММП по своим фильтрационным свойствам характеризуется существенной неоднородностью, как в плане, так и в разрезе [Янников и др., 2021a]. На участке установлено наличие хорошо проницаемых зон, приуроченных к водораздельным участкам рельефа. В разрезе для ММП характерно затухание трещиноватости сверху вниз. По приемистости, емкостным свойствам, а также льдистости в ММП выделяются: – верхняя часть разреза, от дневной поверхности до абс. отм. +330 м; – интервал разреза +330/+280 м; – интервал разреза +280/+200 м.; - нижняя часть разреза, ниже отметок +200 м.

Наибольшей проницаемостью, как правило, характеризуются два верхних интервала. Дополнительно на участке выделяется высокопроницаемая центральная часть, для которой характерны повышенные значения приемистости ($42-90 \text{ м}^3/\text{ч}/(\text{кгс}/\text{см}^2)$). В этой части основная поглощающая толща приурочена к интервалу +210/+290 м, водопроницаемость, определённая при эксплуатации, составляла $84-393 \text{ м}^2/\text{сут}$.

Первоначально, при закачке рассолов распространение их в свободном ото льда трещинном пространстве ММП происходит при неполном насыщении под действием силы тяжести по хорошо проницаемым зонам [Атрощенко, 2000, 2001]. При этом происходит таяние ледового заполнителя трещин, пор, каверн, увеличение их раскрытия, соединение отдельных проводящих зон, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях [Федоров, 1989]. Со временем за счет таяния льда формируется область полного насыщения свободного пространства в толще ММП рассолами, смешанными с водой растаявшего льда. С этого времени движение рассолов происходит под действием градиента давлений и определяется законами Дарси и сохранения массы [Алексеев и др., 1986, 2005]. В рассматриваемых условиях закачки дренажных вод, характеризующихся существенной изменчивостью минерализации в разрезе года, в толще ММП формируется техногенный водоносный горизонт, содержащий рассолы с изменяющейся в пространстве и времени плотностью [Лобанов и др., 1995]. Минерализация рассолов в толще ММП по данным наблюдений на участке закачки составляет от 50 до 250 г/л. Соответственно их плотность составляет 1,03–1,2 г/см³. Таким образом, зависимость плотности рассола от давления для рассматриваемых условий имеет подчиненное значение по сравнению с зависимостью ее от минерализации. Это относится и к изменению трещиноватости (пористости) пород. Здесь более значимым является изменение активного объема трещинно-порового пространства за счет перехода твердой фазы (ледового заполнителя трещин) в жидкую фазу вследствие агрессивности минерализованных вод.

По результатам проведения эксплуатации участка и гидродинамического моделирования была выполнена прогнозная оценка полезной емкости структур под закачку рассолов на участке «Киенгский». При расчете был произведен учет факторов: – отсутствие закачки в течение последних 7 лет, приведшее к падению уровня подземных вод техногенного горизонта (в эпицентре закачки на 80-100 м, с абс. отм. +400 до +420-300; в периферийных частях до 30–40 м, до абс. отм. +200/+220 м); – объём дренажных рассолов (12,9 млн м³), закаченных за всю историю эксплуатации участка; – выявленных в юго-восточной и восточной частях участка высокопроницаемых зон перетока рассолов в ВВК; – рассчитанного в процессе гидродинамического моделирования перетока из техногенного водоносного горизонта в ВВК, составляющего 490 м³/сут. Для оценки потенциальной емкости участка модельный расчет проведен для режима закачки производительностью 300 м³/ч, но не более 200 тыс. м³ в год. Закачка задавалась в существующий закачной ряд скважин.

На рис. 2.9 и 2.10 приведены прогнозные карты изолиний уровней подземных вод техногенного водоносного горизонта и напоров

верхнекембрийского водоносного комплекса на конец 2033 г.

По результатам моделирования прогнозные отметки в центре участка закачки и в периферийных областях не достигают экологически безопасных значений, что указывает на то, что за 12 лет в ММП можно закачать более 2,4 млн м³ рассолов. Отдельно необходимо отметить, что полученный остаточный объём участка не учитывает параметр перетекания рассолов в ВВК. С учётом расчётного значения $Q = 490 \text{ м}^3/\text{сут}$, т.е. 170 тыс. м³ в год, что составляет 85% от объёма закачиваемых вод.

Объём остаточной емкости принимался равным объёму рассолов, поступивших в ММП на участке закачки до момента выхода кривой репрессии к экологически безопасным отметкам [Легостаева и др., 2018].

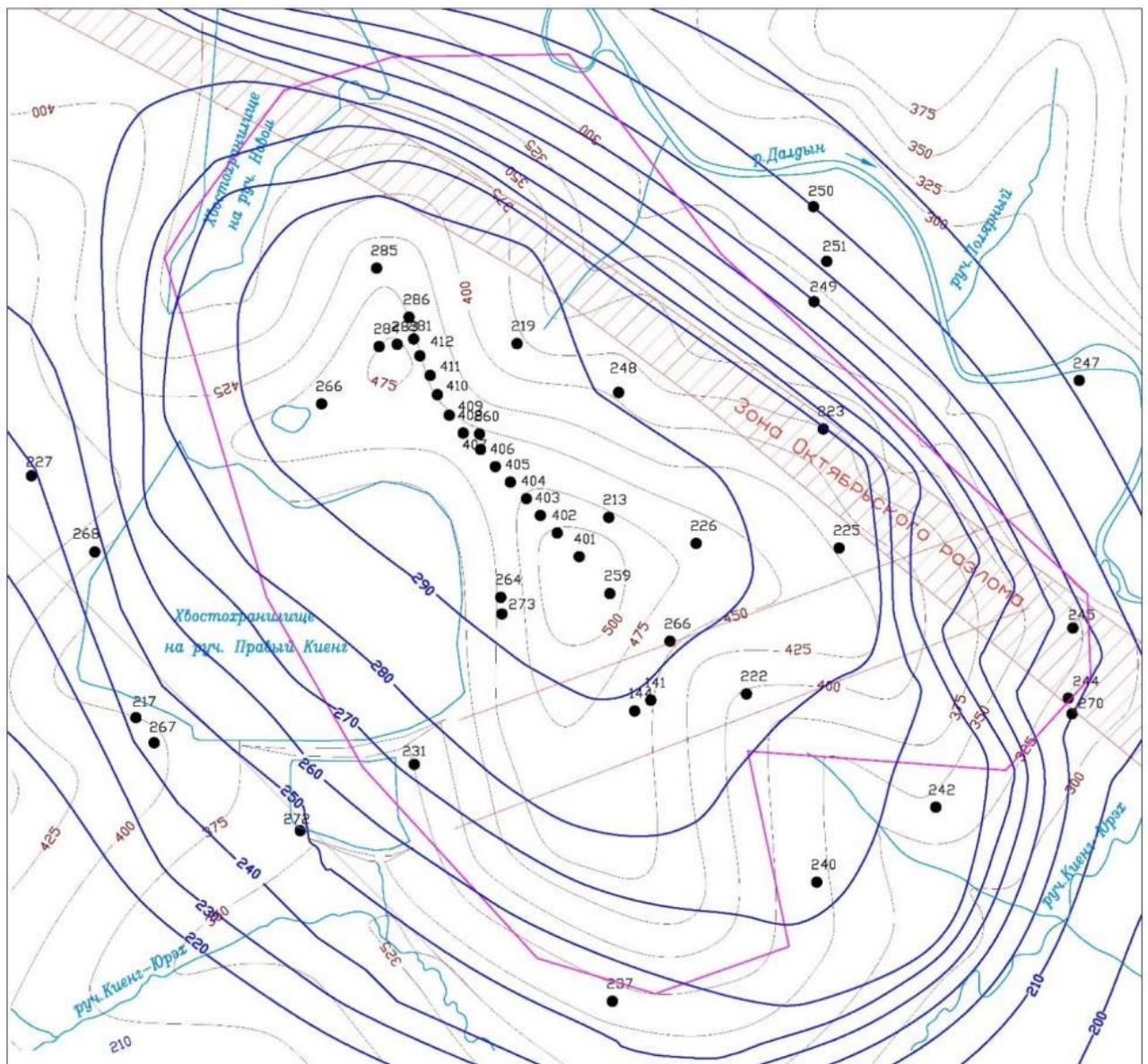


Рис. 2.9 Прогнозное положение уровней верхнекембрийского водоносного комплекса на участке закачки дренажных вод «Киенгский» на 31.12.2033 г.

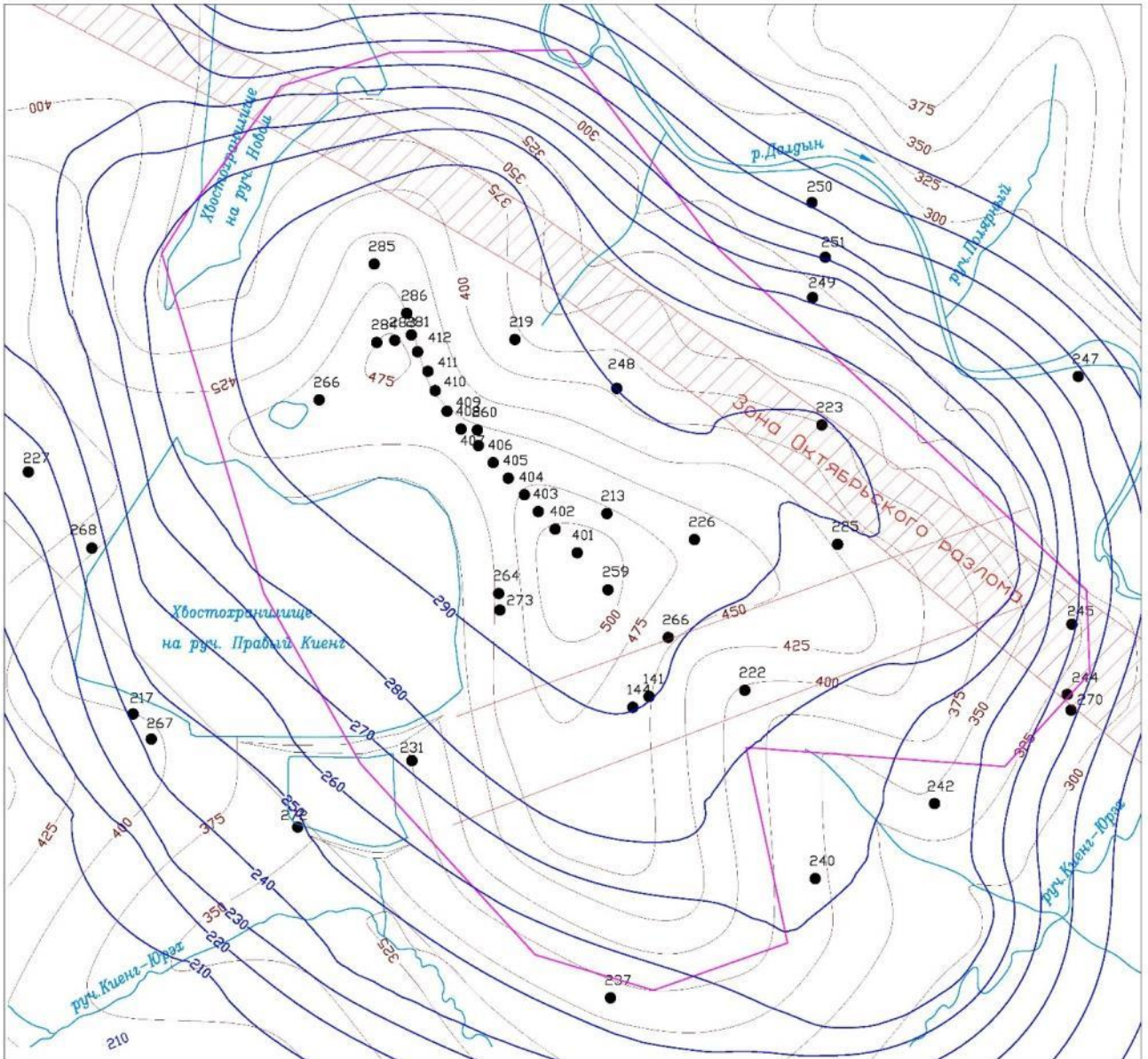


Рис. 2.10 Прогнозное положение уровней техногенного водоносного горизонта на участке закачки дренажных вод «Киенгский» на 31.12.2033 г.

Таким образом, остаточная емкость «Киенгского» участка закачки рассолов на конец 2021 г., с учётом параметра перетекания, составляет не менее 4,7 млн м³.

Из анализа результатов гидродинамического моделирования следует: проведенные расчеты показывают, что использование узла закачки участка «Киенгский», в объеме не более 200 тыс. м³ в год, с расходом = 300 м³/ч, ограничено 12 годами (без учета перетока закачиваемых рассолов из ММП в ВВК) и возможно более 23 лет (с учетом перетока закачиваемых рассолов в ВВК).

Отдельно необходимо отметить, что определенная остаточная емкость участка соответствует не только определенной ранее, но и подтверждается

прямыми аналитическими расчётами.

Анализируя полученные данные можно сделать следующие выводы:

1. Результатом промышленной эксплуатации участка явилось увеличение первоначальных фильтрационных параметров в 2–3 раза. Водопроницаемость техногенного горизонта также возросла и стала выдержанной по площади;

2. Полученные результаты коэффициентов водопроницаемости и действительная скорость миграции, однозначно позволяют говорить, что максимальными параметрами характеризуется центральная и южная части участка;

3. Анализ полученных значений говорит о том, что в данном случае объект исследований правильнее рассматривать как техногенный водоносный горизонт, в котором уже сформирован упругий режим фильтрации, в общем характерный для субнапорных водоносных горизонтов и комплексов.

4. Полученные в результате проведения исследований основные расчётные фильтрационные параметры подтвердили, что существующий ряд закачных скважин № 281, 282, 283, 285, 286, 409, 411 и 412 полностью обеспечит заявленную потребность в экологически безопасной закачке дренажных вод рудника «Удачный» (с расходом = 300 м³/ч и объёмом закачки в течение года – не более 200 тыс. м³), в случае аварийных ситуаций или аномально высоких притоков метеорных вод, и будет способен гарантировано обеспечить её в будущем (до 2032 г.), так как в данной ситуации ограничительной величиной выступает остаточная емкость участка.

В процессе эксплуатации участка «Киенгский» выполнялось равномерное распределение закачиваемых объемов на весь линейный ряд эксплуатационных скважин, это способствовало оптимальному и полному использованию площадных и емкостных параметров всех имеющихся поглощающих интервалов коллекторов на участке.

Необходимо отметить, что направление миграции рассолов соответствует региональному простиранью тектонических нарушений на участке и на данный момент экологически безопасно.

Эколого-геохимическая характеристика наземных экосистем в пределах участка выполнена по суммарной характеристике основных депонирующих сред экосистемы – поверхностных вод, почвенного и снежного покрова [Великин и др., 2000]. Природные экосистемы на «Киенгском» участке испытывали различные уровни техногенной нагрузки. Целесообразно выделить следующие этапы: – этап-I до начала (с 1993 по 2000 гг.); – этап-II в периоды эксплуатации с 2001 по 2013 гг.; – этап-III последующая «релаксация» с 2014 по 2022 гг.

Необходимо отметить, что участок расположен в центральной части Далдынского горнопромышленного узла, охватывает территорию водораздела

рек Сытыкан-Далдын в пределах правобережных притоков последнего от руч. Новый до устья ручья Киенг-Юрях, и является практическим продолжением природной аномалии Сытыканской области, обусловленной наличием проявлений траппового и кимберлитового магматизма [Ковальский, Брахфогель, 1974; Милашев, 1974, 1979]. Площадь участка «Киенгский» характеризуется большим количеством детально изученных кимберлитовых трубок («Рот-Фронт», «Украинская», «Якутская», «Геофизическая», «Молодежная» и др.), в пределах планового распространения изверженных ультраосновных пород выполнен большой комплекс топографических и геофизических работ [Великин, 2016ф, 2019ф]. Для выполнения указанных работ производилась вырубка леса под топопрофили, расчистка площадок для буровых и горных работ, в том числе с применением взрывчатых веществ, бульдозерными расчистками и формированием временных подъездных дорог. Дополнительными объектами техногенной нагрузки в пределах территории исследований также выступают:

- городская свалка бытовых отходов;
- хвостохранилище с развитой сетью гидротехнических сооружений (отводные каналы, дамбы, водоемы).

Наибольшие (масштабные) механические нарушения почвенно-растительного покрова характерны для водораздельной части реки Далдын и ручья Киенг-Юрях, где помимо поисковых шурфовочных линий и разведочных скважин на трубках, выполнен большой объем бурения скважин с целью изучения участка. Указанная техногенная нагрузка в пределах «Киенгского» участка предопределила его собственные экогеохимические параметры и характер проявления аномальности депонирующих сред. Из них наиболее чувствительными реагентами выступают природные воды.

По отношению к параметрам гидрохимического фона района, катионно-анионный состав воды ручья Киенг-Юрях имеет резкие отличия. Здесь установлено превышение фоновых содержаний K^+ (1,51 гф), Mg^{2+} (1,32 гф), Ca^{2+} (1,18 гф), среди анионов – Cl^- (1,45 гф), NO_2^- (1,25 гф). По поведению микроэлементов отмечается аномальность по содержанию Zn (1,75 гф), Sr (1,65 гф), в меньшей мере – Bt , Li , Mn . По отношению к ПДК аномальность не выявлена.

Анализируя условия с верхнего течения ручья Правый Киенг до устья, прослеживаются вариации состава природных вод с учетом площади водосбора. В верховьях течения ручья отмечена аномальность по содержанию Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} , Cl^- с одновременным повышением концентраций Sr , Li , Rb , и Bt . Среднее течение ручья Киенг-Юрях и далее от него вниз по течению к реке Далдын наблюдаются незначительные вариации состава природных вод по K^+ , Cl^- с точечными аномалиями цинка.

Необходимо отметить, что уже по итогам 1-го этапа мониторинговых работ проведенных в 1994 г. воды руч. Киенг-Юрях характеризовались отличными от фоновых содержаниями химических элементов (табл. 2.7).

Таблица 2.7

Химический состав воды руч. Киенг-Юрях

Показатель	ПДК, мг/л	Фоновые содержания	Содержание в руч. Киенг-Юрях
Катионы			
Ca ²⁺	180	55,34	51,67
Mg ²⁺	40	25,96	42,36
Na ⁺	200	6,26	5,64
K ⁺	2	1,46	0,3
Анионы			
HCO ₃ ⁻	-	238,9	91,4
SO ₄ ²⁺	500	3,85	0,25
Cl ⁻	350	7,8	3,03
NO ₂ ⁻	3,3	0,058	0,04
Микроэлементы			
Br	0,2	<0,2	<0,2
J	1,0	<0,42	<0,42
F	1,5	<0,19	<0,19
Zn	1,0	0,012	0,012
Mn	0,1	0,03	0,011
Sr	7,0	0,216	0,073
Li	0,03	0,037	0,011
Pb	0,03	<0,03	0,03
Минерализация	1000	434	357

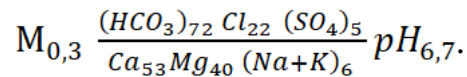
Техногенное воздействие на природные воды ручья Киенг-Юрях в настоящее время связано:

1. С влиянием склоновых почвенно-геохимических процессов и сопутствующего перемещения материала и массопереноса с водоразделов, с участков нарушенного почвенно-растительного покрова и др.;

2. С влиянием составных элементов и сооружений (плотины, отсыпки дорог и др.).

В период интенсивной эксплуатации участка 2000–2013 гг. минерализация воды в ручьях Киенг-Юрях от дамбы маневровой емкости хвостохранилища до впадения в реки Далдын составляла 182–460 мг/дм³. Температура воды изменялась от 6 до 17,1 °С. Диапазон разброса контролируемых показателей зависел от многих факторов (сезона, климатических изменений и т.п.).

Последующие наблюдения с 2014 по 2022 гг. не выявили резких изменений состава вод. Усредненная формула Солевого состава для вод ручья имеет вид:



Общее состояние природных вод ручья Киенг-Юрях, учитывая значения основных показателей относительно уровня ПДК, можно признать удовлетворительным. Следует отметить и отсутствие выраженных аномалий элементов-маркеров (Sr, Li, Zn, Pb).

По отношению к параметрам регионального геохимического фона состав донных осадков бассейна рек Далдын и Сытыкан, также характеризуется повышенными значениями целого ряда микроэлементов. Исследования в целом по району установили пространственные закономерности распределения выявленных аномалий. Установлены признаки связей образования геохимического поля потоков рассеяния с аномалиями в почвах и природных водах.

Например, в составе донных осадков на реке Сытыкан преобладают аномалии средней контрастности Sn, V и слабоинтенсивные – Mo, Ti, Zn, Cr. В виде точечных аномалий определены участки проявления Mn, P и Pb. Отличаются по своим характеристикам и аномалии донных осадков реки Далдын. На участке от ручья Удачного до устья ручья Киенг-Юрях отмечены слабоинтенсивные проявления Cr, P, Zn, V и повышенные количества Ni. Формирование данной аномалии может быть объяснимо поступлением продуктов выветривания кимберлитовых тел, как и в случае в бассейне ручья Дьяхаа до впадения его в реки Далдын [Павлов и др., 1994; Мингазов и др., 1996].

В бассейне ручья Киенг-Юрях от истока до реки Далдын в составе донных осадков фиксируются лишь слабоинтенсивные точечные аномалии B, Mn, Sc и Ti, не представляющие экологической опасности. Важно, что по ручью Киенг-Юрях отмечаемые вариации химического состава вод не оказывают влияния на микроэлементные параметры донных осадков, что является убедительным доказательством констатируемого растворенного состояния вещества в водах, высокой его миграционной способности и быстрого разубоживания состава. Доводом в пользу последнего является и отсутствие гидрохимических аномалий воды в устье ручья Киенг-Юрях и далее вниз по течению реки Далдын.

Почвы непосредственно в пределах «Киенгского» участка охарактеризованы наличием кислотнорастворимых форм Ni (15,7 гф) и Sr (2,5 гф) с участием Рb (1,1 гф) и Со (1,67 гф). В водорастворимой фазе, наиболее активно проявленной на уровне гумусово-минерального слоя почвенного

профиля криоземов, происходит значительное перераспределение содержаний Be, B, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Si, Zn, Ge, Nb, Ag, La, Ce и Yb. Максимумы значений определены в поведении Li, Co, Ni, Ga, Yb, Sn, Pb.

Результаты проведенных исследований приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8

Химический микроэлементный состав почв

Хим. элемент, множитель вес. %	ПДК, мг/л	Фоновые содержания (n=1241)	Содержание в пределах участка Киенгский (n=649)
1	2	3	4
Li, 10 ⁻³	50-100	8,17	9,94
Be, 10 ⁻³	-	0,27	0,25
B, 10 ⁻³	50-100	3,23	3,93
P, 10 ⁻²	100	1,88	4,86
Sc, 10 ⁻³	-	1,97	1,61
Ti, 10 ⁻¹	5000	3,84	2,65
V, 10 ⁻³	50-100	8,5	9,29
Cr, 10 ⁻³	50-100	8,06	7,53
Mn, 10 ⁻²	1500	10,36	9,75
Co, 10 ⁻³	50	1,42	1,71
Ni, 10 ⁻³	85	2,83	4,42
Si, 10 ⁻³	55	3,19	5,12
Zn, 10 ⁻³	100	5,43	8,03
Ga, 10 ⁻³	-	1,50	1,69
Ge, 10 ⁻³	-	0,83	1,12
Y, 10 ⁻³	-	3,64	2,31
Nb, 10 ⁻³	-	0,92	0,71
Mo, 10 ⁻⁴	5-10	1,64	1,92
Ag, 10 ⁻⁵	-	1,05	1,01
Sn, 10 ⁻⁴	30-50	1,73	1,96
Sb, 10 ⁻³	4,5	0,50	0,50
La, 10 ⁻²	-	0,16	0,15
Ce, 10 ⁻²	-	0,51	0,50
Yb, 10 ⁻⁴	-	2,85	2,56
W, 10 ⁻³	-	0,33	0,25
Pb, 10 ⁻³	30	1,00	1,41
Bi, 10 ⁻³	од	н.обн	н.обн.

В качестве геохимически информативного горизонта, соответственно, выделяется минеральный слой, залегающий на глубинах 0,2–0,3 м, в пределах которого происходят основные процессы накопления, массопереноса и перераспределения химических элементов. Полученные данные явились

основанием к выводу о том, что почвы водораздела водотоков Далдын-Киенг-Юрях-Сытыкан в целом характеризуются высокой миграционной активностью. Однако фиксируемые вариации геохимических параметров почв, в целом, отвечают характеристикам местного и регионального фона и имеют удовлетворительные экологические значения практически по всем показателям.

Несомненно, что процесс самовосстановления природы достаточно активен и за прошедший период происходит формирование нового почвенно-растительного покрова, уже с собственными геохимическими отличиями. Определенное и весьма немалое значение оказало прекращение здесь масштабных поисковых геологоразведочных работ. Состояние экосистем в пределах «Киенгского» участка в настоящее время может характеризоваться как экологически удовлетворительное, отвечающее параметрам природного биогеохимического фона.

2.2. Криогидрогеологические условия в пределах участка «Левобережный»

«Левобережный» – это третий по счёту и самый большой по площади участок закачки дренажных вод рудника «Удачный», использующий в качестве рассолопоглощающих структур коллекторы подошвенной части ММП [Отчет о ... , 2020 ф]. Участок расположен на левом берегу реки Далдын в пределах левобережных притоков последнего от ручьев Улахан-Бысыттах и Орто-Бысыттах, являясь практическим продолжением природной аномалии магматической Сытыканской области, обусловленной наличием проявлений траппового и кимберлитового магматизма [Минерагения ... , 2008].

Необходимость криогидрогеологических исследований участка «Левобережный» продиктована его использованием для закачки дренажных рассолов рудника «Удачный» с 2013 г. по настоящее время. Отдельно необходимо отметить, что участок играл доминирующую роль в распределении закачиваемых дренажных рассолов в период 2013–2020 гг., а в период 2014–2017 гг. был единственным участком закачки. Объектом изучения выступали формирующиеся в толще ММП коллекторы, как целевые пласты для реализации технологии закачки. В настоящее время в пределах участка «Левобережный» в результате закачки 22 млн м³ рассолов сформировался техногенный водоносный горизонт площадью ~ 50 км² [Янников, 2022а ф].

С 2013 г. участок «Левобережный» введен в эксплуатацию в опытно-промышленном режиме на базе 12 водопоглощающих скважин глубиной 280 м (1з-12з), расположенных на расстоянии 250 м друг от друга и ряда наблюдательных скважин, оборудованных на разные интервалы криогенного яруса (от 100 до 300 м), а также для наблюдений за подмерзлотным водоносным горизонтом.

В 2016 г. было выполнено бурение в восточной части участка еще 6 закачных скважин. Учитывая плановое расположение данных скважин, далее по тексту они будут фигурировать как восточный ряд закачных скважин. Расположение скважин в пределах участка закачки «Левобережный» и граница горного отвода приведены на рисунке 2.11.

Во время закачки в зимний период одновременно эксплуатируются 4-5 скважин, что достаточно для закачки полного объёма воды, поступающего с рудника «Удачный». В весенне-осенний период одновременно в закачке участвует до 10 скважин.

В настоящее время на участке «Левобережный» наблюдательная сеть состоит из 48 скважин, в том числе: – 18 закачных скважин; – 28 наблюдательных скважин; – 2 скважины ликвидированы [Янников, 2023 ф].

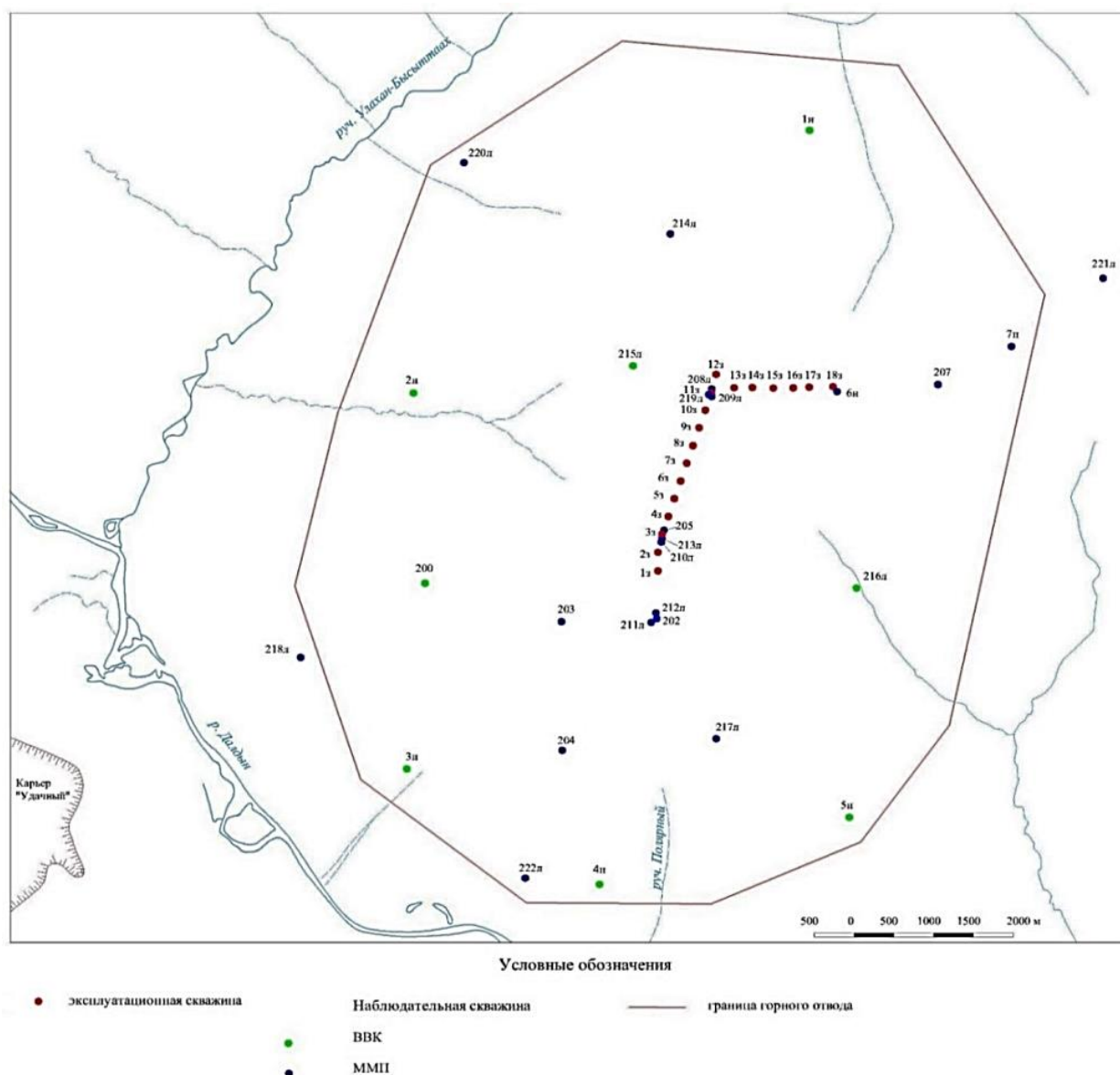


Рис. 2.11 Схема участка закачки «Левобережный» (составлена по материалам Мирнинской ГРЭ и Удачинского ГОКа).

Поглощающие интервалы представлены трещиноватыми и кавернозно-трещиноватыми карбонатными породами моркокинской (C_3 *mrk*) и мархинской (C_3 *mr*) свит. Наиболее проницаемые пласты-коллекторы, по результатам расходомерии, отмечены в интервалах глубин 150,0–295,0 м.

В настоящее время участок обратной закачки «Левобережный» эксплуатируется в опытно-промышленном режиме с суммарной производительностью закачки до 350 м³/час в режиме свободного налива на базе 6 поглощающих скважин, в том числе 12 резервных.

На участке «Левобережный» отложения верхнего кембрия вскрыты всеми скважинами, они хорошо коррелируются с опорным геофизическим разрезом для Далдыно-Алакитского кимберлитового поля и представлены отложениями верхней пачки мархинской свиты (C_3 *mrh₄*), объединенной в геолого-

геофизические пласты 24-25 (табл. 2.9), нижней (пласты 22-23 по ггр), верхней пачками (пласт 21 по ггр) *моркокинской свиты* и нижней пачкой *онхойюряхской свиты* (пласт 20 по ггр) [Дроздов А.В. и др., 1986ф, 1991ф].

Мархинская свита (Є₃trh⁴), верхняя пачка

Отложения мархинской свиты являются основным поглощающим интервалом при проведении ОФР. Отложения представлены неравномерным чередованием сероцветных известняков, доломитов от светло-серых до коричнево-цветных, глинистых известняков, мергелей зеленоцветных и алевролитов на глинисто-карбонатном цементе. Вскрытая мощность отложений от 68,8 м до 123,7 м. Отложения представлены:

– известняками серыми брекчиевидными за счет неравномерной перекристаллизации, слабо пиритизированными, пористо-мелко-кавернозными: поры, каверны и единичные короткие трещины выполнены битумом;

– известняками доломитовыми серого цвета с коричневатым оттенком и серого с зеленоватым оттенком, неяснослоистыми за счет переслаивания известняков органогенно-обломочных перекристаллизованных с порами выщелачивания кальцита и известняков водорослевых алевролитистых сахаровидных;

– известняками сероцветными неравномерно перекристаллизованными, окремненными, слабо пиритизированными, с порами и мелкими кавернами выщелачивания, выполненными битумом;

– доломитами алевролитистыми сероцветными неяснослоистыми, за счет присутствия темных глинистых, слабо пиритизированных пропластков;

– доломитами известковистыми сероцветными с коричневатым оттенком, водорослевыми микросгустковыми, кальцитизированными, неравномерно пористыми с редкими кавернами выщелачивания кальцита, слабо пиритизированными;

– доломитами алевролитистыми светло-серого цвета с коричневатым оттенком, слоистыми за счет присутствия тонких более темных глинистых пропластков.

Подземные воды ВВК вскрываются на глубинах 298,5-299,5 м. Напор составляет от 12,9 м до 29,8 м. По результатам лабораторных исследований коэффициент открытой пористости ($K_{откр}^п$) отложений варьирует в пределах 4,81–21,86 %, средняя величина 12,69 %. Коэффициент эффективной пористости ($K_{эф}^п$) варьирует в пределах 1,09–17,8 %, средняя величина 6,27%. Коэффициент остаточной водонасыщенности ($K_{ов}$) изменяется от 18,6 до 92,6 % при средней величине 60,5 %.

Таблица 2.9

Стратиграфическая попластовая разбивка на участке «Левобережный»

№ пласта	Куст III				Куст II				Куст I				скв. 214л		скв. 215л	
	скв. 208л		скв. 209л		скв. 210л		скв. 213л		скв. 211л		скв. 212л		Интервал, м	Мощность, м	Интервал, м	Мощность, м
	Интервал, м	Мощность, м	Интервал, м	Мощность, м	Интервал, м	Мощность, м	Интервал, м	Мощность, м	Интервал, м	Мощность, м	Интервал, м	Мощность, м				
Є₃ оп₁ онхойюряхская свита																
20	1,8-59,2	57,4	2,0-63,8	61,8	0-63,4	63,4	6,8-58,2	51,4	7,1-69	61,9	0-74	74,0	1,9-36,5	34,6	1.4-11	9.6
Є₃ mrg₂ моркокинская свита																
21	59,2-124	64,8	63,8-124,6	60,8	63,4-120,8	57,4	58,2-118,8	60,6	69-131	62,0	74,0-130,8	56,8	36,5-104,6	68,1	11.0-78.6	67.6
Є₃ mrg₁ моркокинская свита																
22	124,0-175,6	51,6	124,6-175,8	51,2	120,8-162,2	41,4	118,8-169,8	51,0	131-177,7	46,7	130,8-179	48,2	104,6-150	45,4	78.6-125.4	46.8
23	175,6-226,4	50,8	175,8-228,4	52,6	162,2-215,4	53,2	169,8-218,8	49,0	177,7-228,5	50,8	179-231,2	52,2	150-200	50,0	125.4-176.3	50.9
Є₃ mrg₄ мархинская свиты																
24-25	226,4-300	73,6	228,4-300	71,6	215,4-300	84,6	218,8-300	81,2	228,5-300	71,5	231,2-300	68,8	200-300	100	176.3-300	123.7

Коэффициент пористости ($K_{пл}^n$), определённый для пластовых условий, изменяется от 4,7 до 21,8 % (средняя величина 12,87 %). Величина влажности пород, определённая в лабораторных условиях, варьирует 0,6–3,6 %, средняя величина 1,8 %.

Моркокинская свита ($\epsilon_3 mrk_1$)

Отложения *моркокинской свиты* ($\epsilon_3 mrh$) представлены двумя пачками. К нижней пачке ($\epsilon_3 mrk_1$) приурочены геофизические пласты 22 и 23. Мощности пластов на участке довольно выдержанные. Мощность нижней пачки моркокинской свиты от 94,6 м до 103,8 м [Ильков А.Т. и др., 2010ф, 2011ф]. Отложения представлены:

- доломитами светло-серыми с коричневатым оттенком зернистыми, с тонкими более темными прослоями доломитов алевритистых;
- известняками перекристаллизованными слабо глинистыми неравномерно пористо-кавернозными;
- доломитами известковистыми сероцветными с коричневатым оттенком, водорослевыми микросгустковыми кальцитизированными, неравномерно пористыми с редкими кавернами выщелачивания кальцита, слабо пиритизированными.

Пористость и кавернозность приурочена к пласту 23 и отмечается в интервале 180-228,9 м. Частично поры и каверны залечены льдом. Интенсивная трещиноватость отмечается в кровле 22 пласта и подошве пласта 23. Трещины залечены льдом. По результатам лабораторных исследований коэффициент открытой пористости ($K_{откр}^n$) отложений варьирует в пределах 5,44–23,97 %, средняя величина 16,28 %. Коэффициент эффективной пористости ($K_{эф}^n$) варьирует в пределах 0,75–18,34 %, средняя величина 8,60 %. Коэффициент остаточной водонасыщенности ($K_{ов}$) изменяется от 23,5 до 86,2 % при средней величине 49,9 %. Коэффициент пористости ($K_{пл}^n$), определённый для пластовых условий, изменяется от 5,40 до 23,80 % (средняя величина 13,79 %). Величина влажности пород, определённая в лабораторных условиях, составляет 2,3–22,5 %, средняя величина 6,8 %.

Отложения верхней пачки моркокинской и нижней пачки онхойюряхской свит в настоящей главе не рассматриваются, т.к. располагаются выше +290,0 м - допустимой границы закачки.

На участке «Левобережный» многолетнемерзлые породы (ММП), имеющие включения видимого льда, заполняющего поры, каверны, трещины и слагающие верхний ярус криолитозоны, имеют мощность 260-298 м. Ниже располагается ярус охлаждённых пород, содержащих рассолы с отрицательной температурой (криопэги) [Толстихин и др., 1963; Кононова и др., 1971;

Толстихин, 1982].

Совместно с сотрудниками Института мерзлотоведения СО РАН были проведены полевые геотермометрические исследования по ряду наблюдательных гидрогеологических скважин участка «Левобережный».

Скважина 207. В слое годовых теплооборотов (ГТО) – до глубины 40 м, температура повышается с глубиной с $-4,6$, до $-3,9$ °С. Ниже до отметки 90 м температура стабильна и составляет $-3,9$ °С. Затем фиксируется последовательный рост температуры с общим градиентом $0,8$ °С/100 м. На отметке 220 м наблюдается резкий скачек температуры от $-2,8$ до $-2,3$ °С, связанный с переходом в водную среду.

Скважина 212. В слое ГТО наблюдается повышение температуры от $-4,7$ на отметке 10 м до $-1,9$ °С, на отметке 50 м. Ниже – до отметки 180 м температура более менее стабильна. Ниже отметки 180 м отмечается резкое понижение температуры на $0,4$ °С. Ниже 180 м температура стабилизируется с общим небольшим повышением. С глубины 270 м наблюдается резкое понижение температуры от значения $-2,6$ °С до $-3,3$ °С.

В целом по разрезу можно выделить зону повышения температуры, охватывающую слой ГТО, зону стабилизации – от 30 до 180 м и зону понижения – от 180 до 300 м с пиком понижения на отметках 270–300 м в водной среде. Градиент понижения температуры по разрезу (за исключением слоя ГТО) составляет $0,5$ °С/100 м – от $-1,9$ °С на отметке 40 м до $-3,3$ °С на отметке 300 м.

Скважина 213. Как и в предыдущей скважине 212 здесь наблюдается общая, хотя и менее значительная тенденция к понижению температуры с глубиной. В слое ГТО также, температура увеличивается от $-3,6$ °С до $-2,7$ °С. Затем температура медленно падает до отметки 170 м, где ее значение соответствует $-3,3$ °С. На рубеже отметок 170–180 м наблюдается резкое понижение температуры до $-4,6$ °С, после чего она повышается до $-3,8$ °С на отметке 200 м. Еще один резкий скачек температуры от $-3,9$ до $-4,5$ °С зафиксирован на отметке 270 м.

Скважина 214. В скважине 214 перепады температуры с глубиной менее резкие. В отличие от предыдущих скважин здесь отмечается активное понижение температуры в слое ГТО от $-2,5$ до $-3,4$ °С. Затем наблюдается тенденция к медленному понижению температуры с глубиной. Некоторый рост температуры на $0,2$ – $0,3$ °С происходит в диапазоне глубин 220–240 м, затем температура вновь понижается. Градиент понижения температуры по разрезу $0,4$ °С.

Скважина 215. Разрез характеризуется общим понижением температуры, вниз по разрезу значения которой на глубине 10 м составляют $-2,4$ °С, а на

глубине 300 м $-4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако в режиме температуры отмечается ряд нюансов, а именно: на отметке 120 м значение температуры в процессе ее понижения с глубиною скважины составляют $-3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем наблюдается повышение температуры с отметки 130 м ($-3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) до отметки 220 м ($-3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) с пиком повышения в диапазоне глубин 200-220 м. Затем температура понижается, достигая на отметке 300 м значения $-4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Общий градиент понижения по разрезу составляет $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$.

Многолетние режимные геотермические наблюдения в районе работ позволили выявить характер трансформации температурного режима, связанной с закачкой дренажных рассолов в толщу ММП. По сводным графикам скважин закачного ряда отчетливо можно отметить незначительное изменение температуры. В период начала закачки температура была $-3 - -6\text{ }^{\circ}\text{C}$, в 2022 г. интервалы температуры изменились от 1 до $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.12).

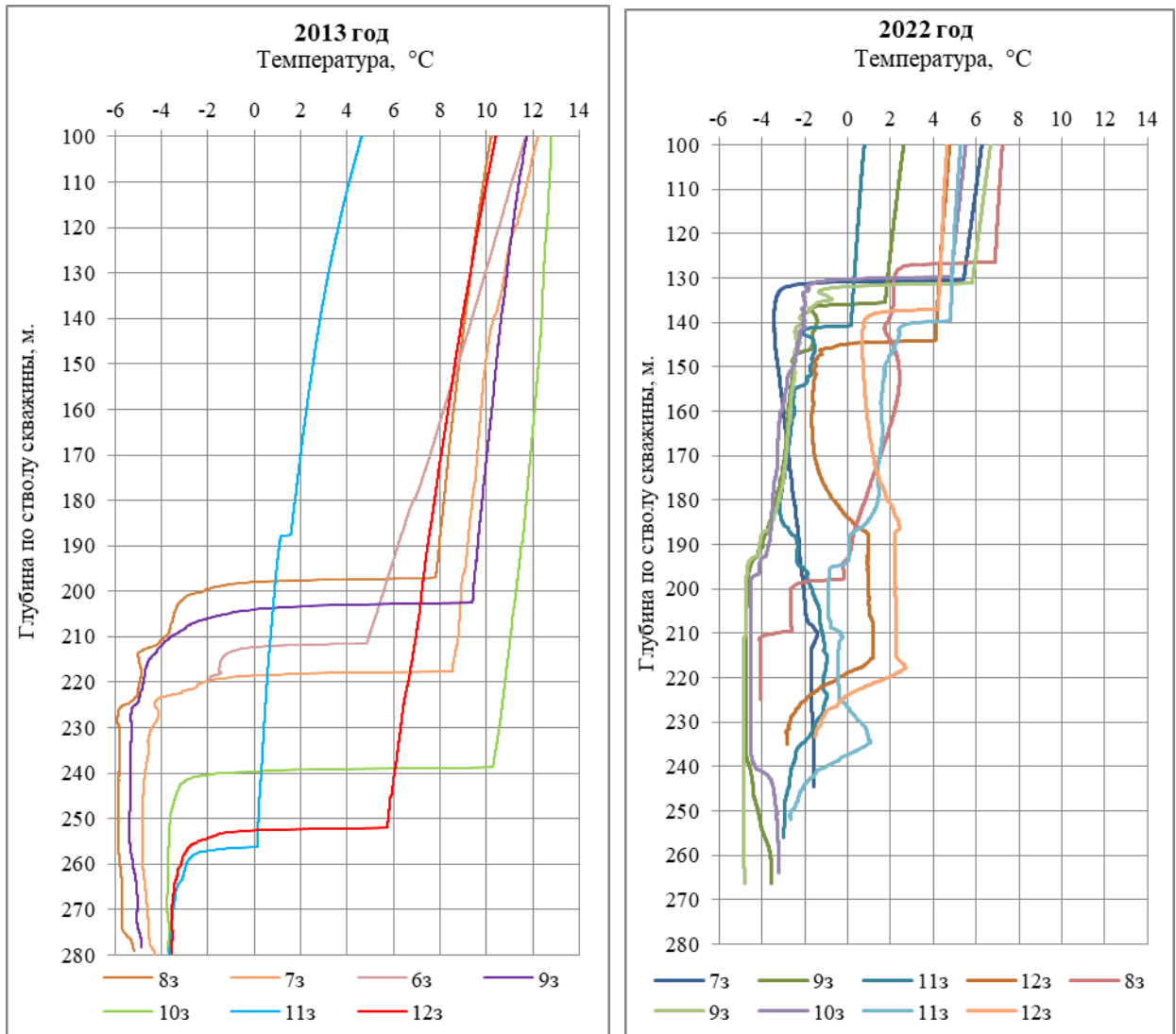


Рис. 2.12 Сводные термограммы по скважинам закачного ряда.

Максимальные изменения температуры были зафиксированы по скважине №7з. По результатам наблюдений температура по стволу скважины в интервале

техногенного водоносного горизонта увеличилась на 3-4 °С. По термограммам наблюдательных скважин, расположенных на удалении до 500 м от закачного ряда, существенных температурных изменений не зафиксировано. Замеренные изменения не превышают 1 °С. Геотермических колебаний в периферийных частях техногенного водоносного горизонта, также не зафиксировано, рассолы имеют устойчивое температурное поле со значением -4 – -2 °С.

Необходимо отметить, что по интенсивно эксплуатируемым скважинам закачного ряда, например 13з и 17з, существенных изменений температурного поля не зафиксировано (не более 1 °С) (рис. 2.13).

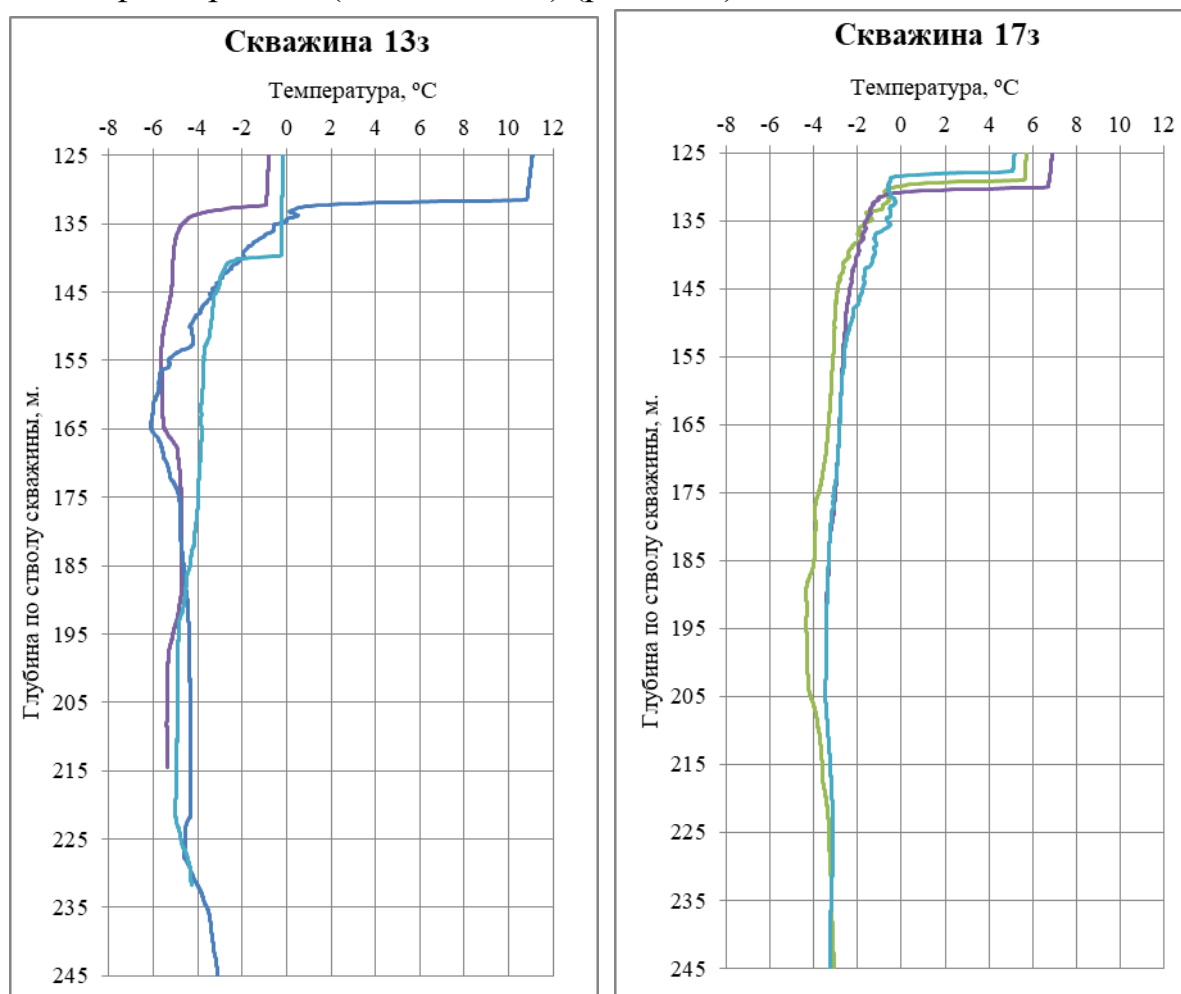


Рис.2.13 Термограммы по скважинам 13з и 17з.

Режимные наблюдения, проведенные в период эксплуатации участка, показали, что температура горных пород в интервалах поглощений за всё время эксплуатации участка оставалась в отрицательном поле значений от -2,28 до -5,0 °С. Таким образом, проведенным циклом наблюдений установлено, что на уровне рассолопоглощающих интервалов толщи ММП существенных изменений температур горных пород не произошло. Это связано, главным образом, с направлением миграции закачиваемых рассолов в криогенных толщах пород, а также с характером тепломассопереноса на участке закачке [Власов и др., 1971].

Дополнительным фактором понижения температуры интервалов поглощения также выступил существующий отрицательный температурный баланс атмосферного воздуха в районе, т.к. за счёт закачных и наблюдательных скважин происходил конвективный тепло- и массоперенос атмосферного воздуха [Борисов и др., 1994а, 1994б].

В целом анализ результатов режимных геотермических исследований показал, что по динамике температурного поля участка «Левобережный», как и на участке «Киенгском» можно выделить три геотермические зоны. Температурный режим первой зоны формируется под влиянием поверхностных условий и показывает их специфику или степень их нарушенности. Вторая зона должна иметь стабильное температурное поле и в ходе эксплуатации участка дренажные воды в данную зону не должны поступить. Попадание рассолов на такие гипсометрические отметки экологически нежелательно, так как горизонт залегает выше местного базиса эрозии [Плотников, 1989; Порохняк, Рассудов, 1993]. Температурный режим третьей зоны зависит от режима закачки рассолов, поэтому по динамике ее температурного режима должна производиться корректировка режима эксплуатации всей системы закачки.

Наземные геофизические работы методом ЗМПП выполнялись с целью изучения геоэлектрических характеристик участка «Левобережный» до начала проведения опытно-фильтрационных работ. Полученные геоэлектрические характеристики позволили впоследствии осуществлять ежегодный мониторинг изменения границ распространения минерализованных вод на глубинах до 400 м, а также оценить динамику процесса распространения закачиваемых рассолов. Для решения поставленных задач выполнялись зондирования методом переходных процессов (ЗМПП) разнесенной установкой 100×100 м. Исследования проводились с очередностью раз в два года. По результатам проведенных работ построены геоэлектрические разрезы по каждому профилю. Геологический разрез исследуемого участка обусловлен трещиноватыми карбонатными породами с высокой степенью льдистости. По материалам интерпретации данных наземной электроразведки, результатам бурения, верхняя часть разреза представлена сильно трещиноватыми (трещины заполнены льдом) отложениями онхойюряхской свиты мощностью до 60 м, с удельным электрическим сопротивлением 100–1000 Ом·м. Стенки трещин покрыты тонкой коркой гидроокислов железа. Ниже по разрезу залегают трещиноватые карбонатные породы средне-, нижнеморкокинской свиты с удельным электрическим сопротивлением 1000–5000 Ом·м. Третий геоэлектрический слой характеризуется низким электрическим сопротивлением и соответствует мархинской свите верхнего кембрия.

Глубина изучения контролируется интервалами распространения первого подмерзлотного горизонта. В отдельные годы площадь изучения корректировалась, в частности, длина профилей несколько увеличивалась, в зависимости от распространения границ репресссионного купола. По полученным результатам можно с достаточной степенью надежности судить о направлении распространения дренажных рассолов и эффективности применяемого метода исследований. По данным наземных геофизических исследований распространение дренажных рассолов в толще ММП происходит в СВ и ЮЗ направлениях. На всех геоэлектрических разрезах, на абсолютных отметках 190–230 м прослеживается плавная градиентная граница, которая соответствует положению кровли верхнекембрийского водоносного комплекса (ВВК) и характеризуется максимальным значением проводимости (до 5 Сим/м). Градиентная граница кровли ВВК проходит плавно, без аномальных перепадов на абсолютных отметках 210–230 м. Уровень рассолов в скважинах 7з-12з выше кровли ВВК. Графическая интерпретация результатов исследований для наглядности представлена в виде разреза дифференциальной электропроводности по профилю (рис. 2.14 и 2.15).

Выполненные замеры электропроводности с использованием каротажных данных позволяют отследить динамику изменений по глубине и с учетом временных показателей [Гавич, 1982, 1988].

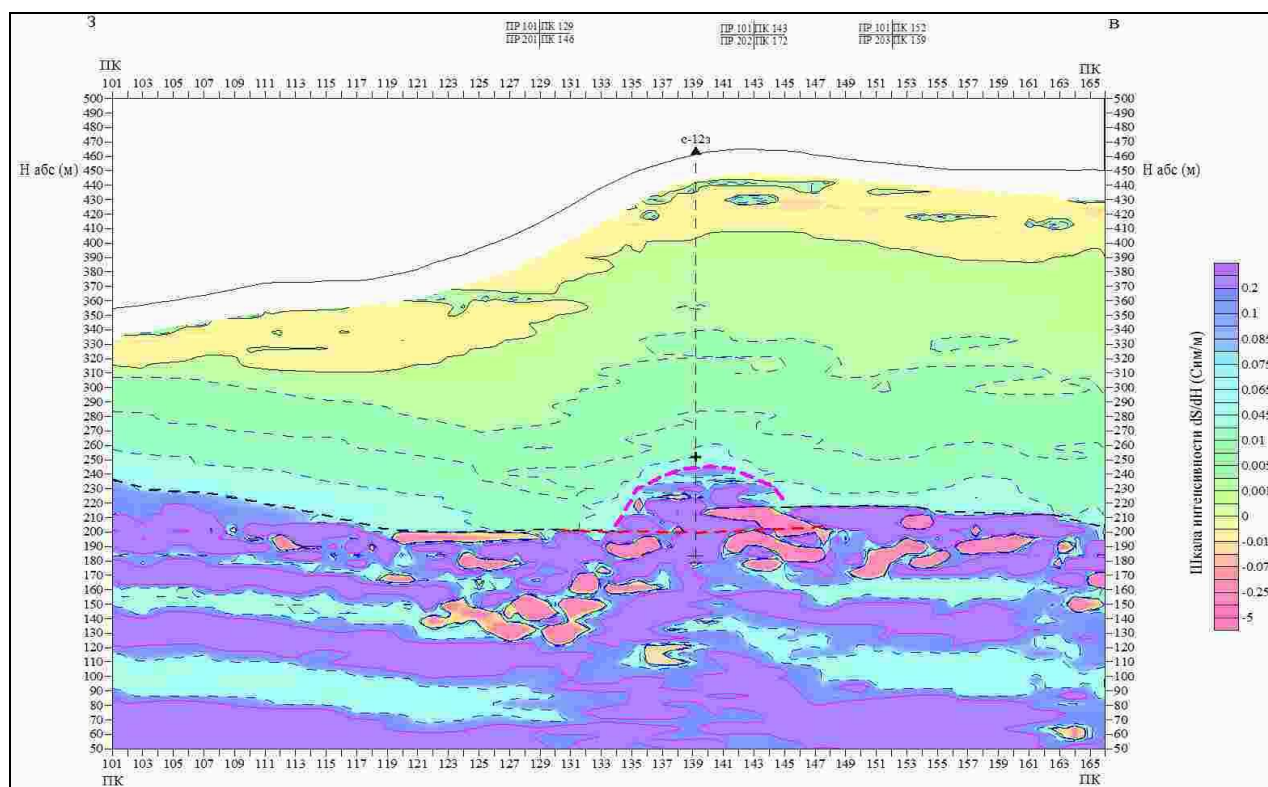


Рис. 2.14 Изменения электропроводности породного массива на участке «Левобережный».

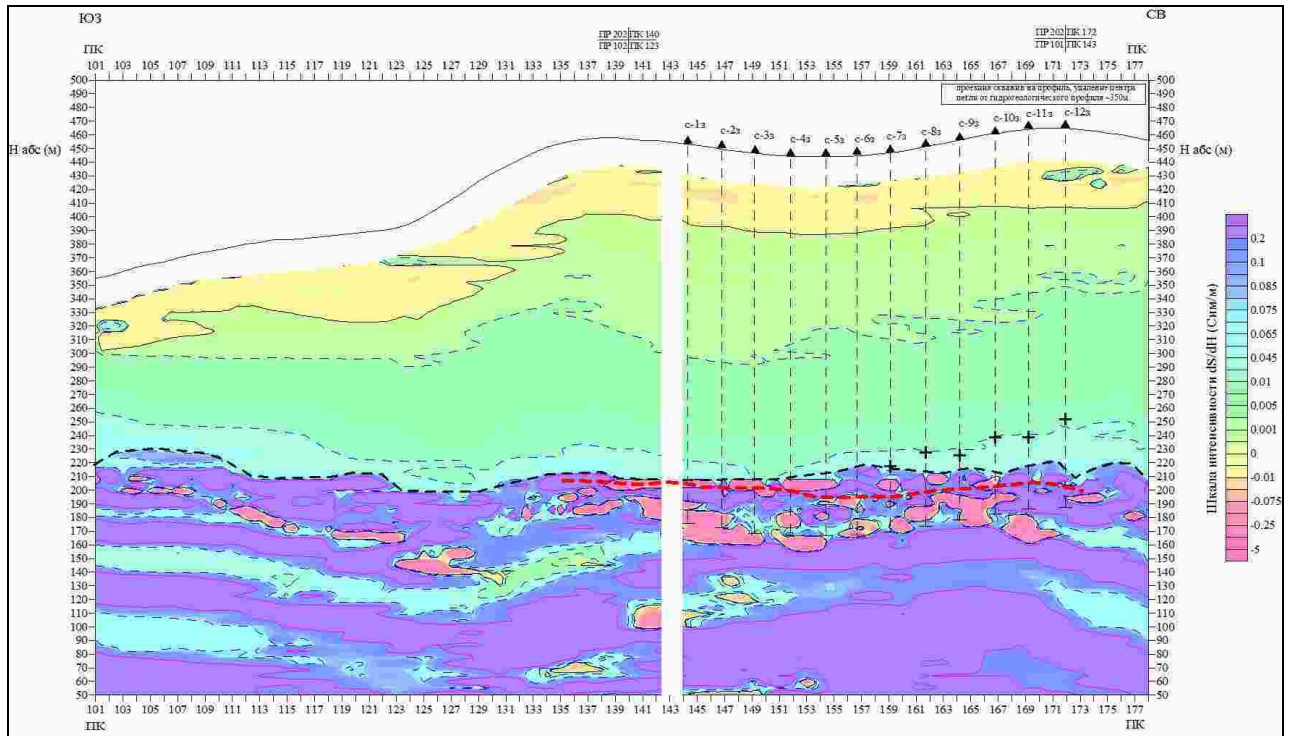


Рис. 2.15 Изменения электропроводимости породного массива на участке «Левобережный».

В результате проведенных и проводимых исследований можно утверждать, что в настоящее время участок «Левобережный» соответствует природоохранным требованиям. Уровни в техногенном водоносном горизонте находятся в экологически безопасном диапазоне. В то же время должны приниматься действенные и своевременные меры по недопустимости проливов рассолов, прорывов водоводов и других неполадок технологического характера.

Гидрохимические исследования проводились для оценки изменения качественного состава закачиваемых дренажных рассолов в результате взаимодействия их с вмещающими породами структуры участка закачки и смешения с талыми водами подземных льдов, проводился по закачным скважинам участка «Левобережный» с начала его эксплуатации. Проводимые гидрохимические исследования по линии закачных скважин показали, что распределение минерализации в рамках техногенного водоносного горизонта имеет пространственно-временную трансформацию. Вблизи центральной части участка прослеживается плотностная дифференциация рассолов. Следует подчеркнуть, что кардинальных изменений в составе вод техногенного горизонта после остановки закачки и до настоящего времени не отслежено, происходит только снижение минерализации, однако, за счет криогидрохимических преобразований в системе «порода-рассол» возможны незначительные изменения в исходном катионно-анионном составе уже закачанных вод. Процесс разбавления закачанных ранее

высокоминерализованных вод происходит повсеместно. Если рассматривать характер распределения вод разной минерализации в массиве на участках, то можно проследить следующую картину: наиболее концентрированные рассолы при латеральном распределении обнаруживались только в самом центре участка. По мере удаления от эксплуатационных скважин происходит закономерное уменьшение общей минерализации закачанных вод.

При закачке рассолов в мерзлых толщах процесс плавления льдов и последующее разбавление закачанных стоков идет достаточно интенсивно и зависит от многих факторов [Алексеев, Иванов, 1972; Борисов, Алексеев, 1988, Данилов, 1990; Абрамов, Кирюхин, 1997; Alexeev et.al., 2012]. Если оценивать по солевому балансу разбавление всей общей массы закаченных дренажных рассолов ($M \approx 300 \text{ г/дм}^3$) в мерзлые толщи участка, то во взаимодействие вступило свыше 110 млн м^3 вод, находящихся в твердой фазе. По результатам выполненного опробования химический состав техногенного горизонта характеризуется как хлоридно-кальциевый. Усредненная формула солевого состава и усредненные характеристические коэффициенты химического состава рассолов, отобранных из закачных скважин, имеют следующий вид:

$$M_{192} \frac{Cl_{98}}{Ca_{58}(Na+K)_{23}Mg_{19}} pH_{5,3} \gamma_{1.137};$$

$$\frac{rSO_4 * 100}{rCl} 0.25 \frac{(rNa+rK)*100}{M} 0.43 \frac{rNa+rK}{rCl} 0.25 \frac{rCa}{rMg} 3.1 \frac{rCl}{Br} 51.45;$$

Содержания Br варьируют в пределах 0,9-3,1 г/л. Максимальные значения отмечаются в закачных скважинах, расположенных в эпицентре закачки. С удалением от эпицентра содержание Br уменьшается в 1,5-2 раза.

Химический состав техногенных вод ММП и ВВК, отобранных из скважин участка, характеризуется как хлоридный магниевый-кальциевый. Усредненная формула солевого состава и усредненные характеристические коэффициенты химического состава соленых вод и рассолов, отобранных из наблюдательных скважин на участке «Левобережный»:

- скважины, вблизи эпицентра закачки:

$$M_{160} \frac{Cl_{99}}{Ca_{58}Mg_{22}(Na+K)_{20}} pH_{5,1} \gamma_{1.12};$$

$$\frac{rSO_4 * 100}{rCl} 0.31 \frac{(rNa+rK)*100}{M} 0.41 \frac{rNa+rK}{rCl} 0.23 \frac{rCa}{rMg} 2.87 \frac{rCl}{Br} 55.87;$$

- скважины, оконтуривающие центральную часть участка:

$$M_{141} \frac{Cl_{99}}{Ca_{50}Mg_{28}(Na+K)_{21}} pH_{5,3} \gamma_{1.1};$$

$$\frac{rSO_4 * 100}{rCl} 0.58 \frac{(rNa+rK)*100}{M} 0.4 \frac{rNa+rK}{rCl} 0.22 \frac{rCa}{rMg} 2 \frac{rCl}{Br} 61.07;$$

- скважины в периферийной части участка:

$$M_{106} \frac{Cl_{99}}{Ca_{45}Mg_{34}(Na+K)_{21}} pH_{4.9} \gamma_{1.09};$$

$$\frac{rSO_4 * 100}{rCl} 0.48 \frac{(rNa+rK)*100}{M} 0.39 \frac{rNa+rK}{rCl} 0.21 \frac{rCa}{rMg} 1.53 \frac{rCl}{Br} 59.07;$$

Природные подземные воды верхнекембрийского водоносного комплекса преимущественно представлены хлоридными натриево-магниевыми-кальциевыми рассолами с минерализацией до 250 г/дм³. В анионном составе содержания хлора в пределах 98–99 %-экв., сульфат-иона до 1 %-экв.) Катионный состав рассолов ВВК вблизи участка закачки, практически не отличается от ранее исследованных. Среди катионов преобладает кальций, его относительное содержание достигает 40 %-экв, относительное содержание магния до 27–30 %-экв. и содержание (Na+K) – 30–33 %-экв. Для рассолов ВВК характерны низкие значения отношений rNa/rCl (0,14–0,33), Cl/Br, что свидетельствует о высокой степени их метаморфизации.

По химическому составу техногенных вод, отобранных из наблюдательных скважин участка, видна явная дифференциация от центра к периферии, вызванная разбавлением закачиваемых рассолов растворимыми жильными льдами [Посохов, Толстихин, 1977; Борисов и др., 1987, 1997]. Минерализация техногенных вод закономерно уменьшается от центра к периферии. Не разбавленные рассолы, близкие по минерализации к закачиваемым водам, в оконтуривающих и периферийных скважинах не обнаружены. Таким образом, отсутствие химических аномалий в плане позволяет делать вывод о планомерном распространении закачиваемых рассолов, от центра к периферии, в толще ММП. Такое распространение является наиболее благоприятным и позволяет в полной мере использовать все имеющиеся коллекторы участка.

На этапе оценочных работ и выполнения опытных наливов были получены основные характеристические гидродинамические коэффициенты. К началу опытно-промышленной эксплуатации основными исходными данными по узлу закачки «Левобережный» являются: – средняя отметка уровня закачиваемых вод в таликовой зоне реки Далдын при закачке шахтных и дренажных вод не должна превышать +280 абс. м; – интервалы поглощения воды – от +280,6 до +124,8 абс. м; - подошва основного коллектора залегает на отметках от +172,5 до +209,1 абс. м (средняя около +190 абс. м); – коэффициент приемистости скважин - от 18,19 до 78,6 м³/час·МПа; - км до 160,0 м²/сут.

Формируемый техногенный водоносный горизонт на участке «Левобережный» за время эксплуатации претерпел значительные изменения. Закачка 22 млн м³ дренажных рассолов рудника трубки «Удачная» привела к

изменению фильтрационных параметров. Распределение объема закачиваемых дренажных вод по годам опытно-промышленной эксплуатации приведено в таблице 2.10 и рисунке 2.16.

Таблица 2.10

Объем закачиваемых вод на участке «Левобережный»

№ п/п	Год	Объем закачанных дренажных вод, м ³
1	2013	1 042 300
2	2014	2 620 700
3	2015	3 317 700
4	2016	2 743 500
5	2017	2 794 600
6	2018	2 774 000
7	2019	2 934 800
8	2020	1 787 700
9	2021	1 243 300
10	2022	744 100
ИТОГО		22 002 700

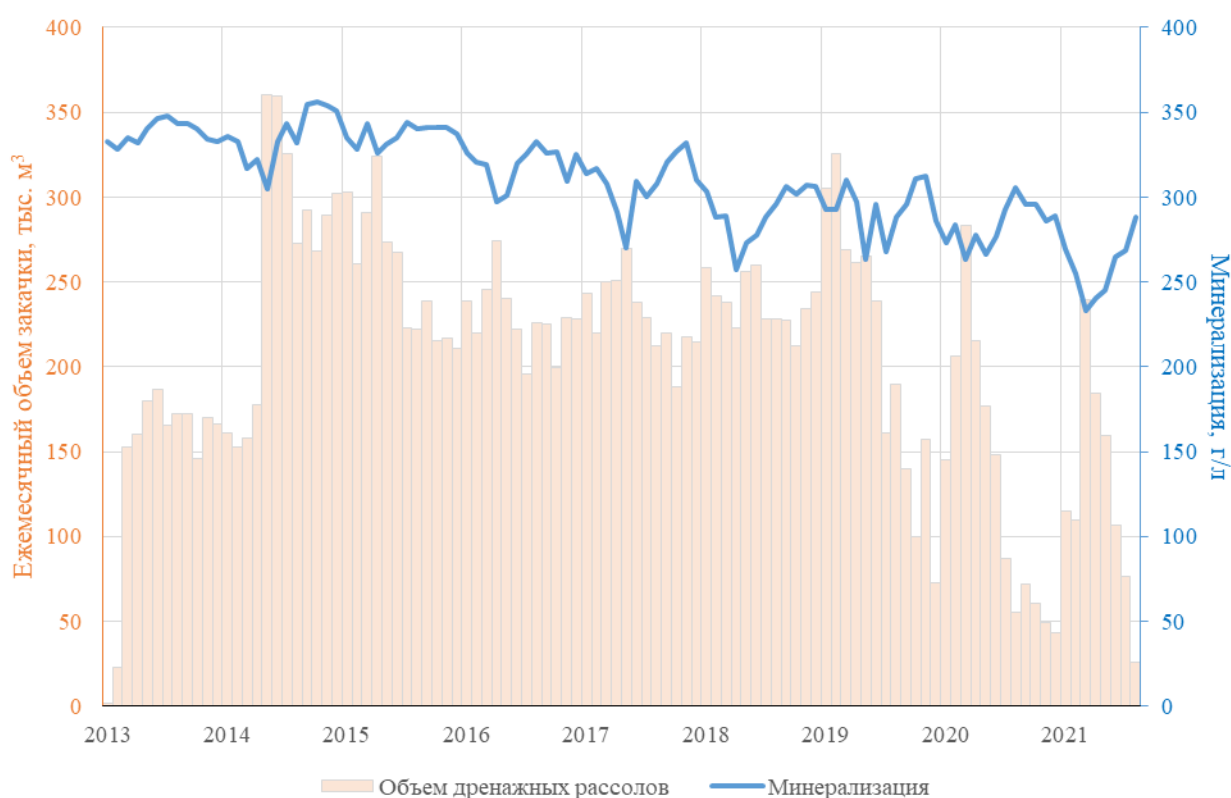


Рис. 2.16 Динамика объемов закачки на участке Левобережный.

В процессе эксплуатации участка целесообразно выделить три этапа:

- Первый этап (с мая 2013 г.) – были введены в эксплуатацию первые 6 закачных скважин 1з-6з.
- Второй этап (с августа 2014 г.) – в эксплуатацию введены еще 6 закачных

скважин 7з-12з, одновременно в работе находилось 10-12 скважин.

- Третий этап (с июня 2018 года) – в эксплуатацию введен ряд скважин 13з-18з.

Интенсивность закачки рассолов в первые 12 скважин за весь период равномерно. В дополнительном ряду на северо-востоке участка основной объем закачки производился в четыре из шести скважин. За счет этого наибольшие объемы закачки достигались по скважинам 14з (1474,5 тыс.м³), 17з (2043,5 тыс. м³), 18з (2386,8 тыс. м³); наименьшие по скважинам 15з (404,9 тыс.м³) и 16з (410,9 тыс. м³). Распределение закачиваемых объемов рассолов по каждой скважине представлено на рисунке 2.17.

Уровненный режим техногенного водоносного горизонта в толще ММП характеризуется закономерным развитием репрессивного купола в центральной части и с увеличением площади распространения закачиваемых рассолов на периферии. Динамика уровней подземных вод в центральной части напрямую зависит от режима закачки дренажных рассолов (рис.2.18).

Весь период закачки можно разделить на 3 периода по интенсивности закачки:

- в первый год 200 м³/ч,
- с 2014 по 2018 – 300–350м³/ч,
- с 2019 по 2022 – 100–150 м³/ч,

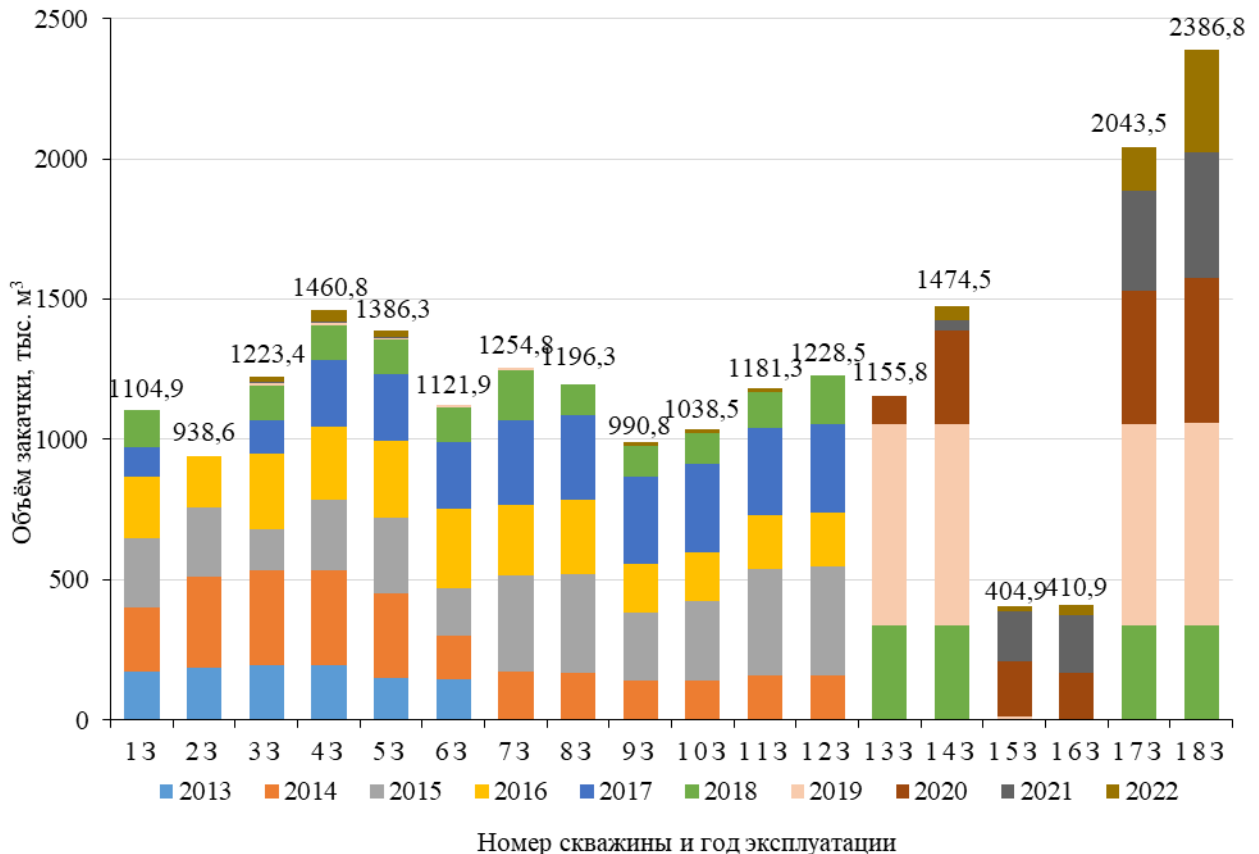


Рис. 2.17 Объемы закачки дренажных вод по закачным скважинам.

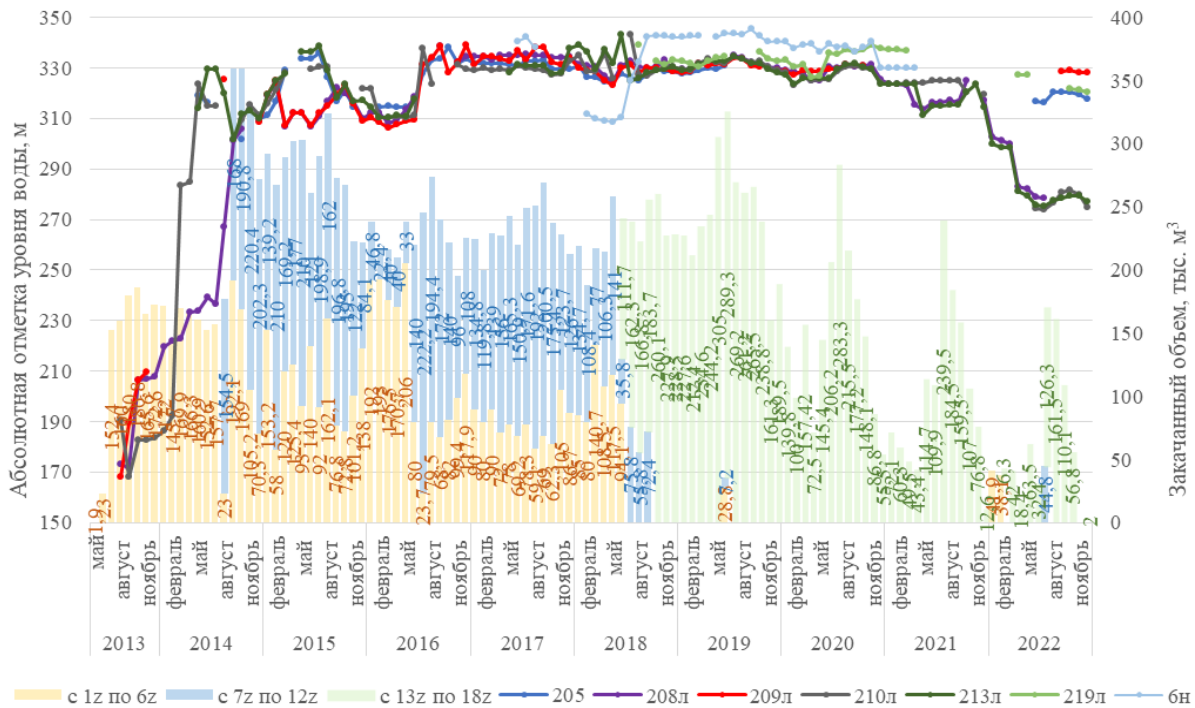


Рис. 2.18 Динамика изменения уровня воды техногенного водоносного горизонта в центре участка.

Изменения фильтрационных параметров связано, прежде всего, с особенностями миграции рассолов в толще ММП [Вожов, Сурнин, 1982; Зелинская, Воронина, 2009]. Если на начальном этапе исследований (поисково-разведочном 2010–2012 гг.), реакция в наблюдательных скважинах на производство налива в опытные скважины составляла от первых часов до суток, то в настоящее время реакция на изменение расходов на порядок меньше (до часа). При этом расчётная скорость миграции составляла от 96 до 170 м/сут. Что свидетельствовало об образовании и формировании безнапорного техногенного таликового водоносного горизонта, так как данные параметры (их размерность) характерны для свободной пьезометрической поверхности, свойственной безнапорным водоносным комплексам. При производстве опытно-промышленной эксплуатации участка было выявлено увеличение расчётного коэффициента уровнепроводности, что свидетельствует об образовании и сформированности субнапорного (напорно-безнапорного) техногенного таликового водоносного горизонта в толще ММП [Янников, Харченко, 2021]. В пользу формирования именно горизонта (а не комплекса) говорит отсутствие в разрезе выдержанных водоупорных толщ, разделяющих поглощающие интервалы, подтверждённое ещё на этапе поисково-оценочных работ.

Распространение дренажных рассолов по площади происходит в основном в ЮЗ и СВ направлении. После снижения интенсивности закачки уровень в центре снизился от 10 до 50 м (рисунки 2.19–2.22).

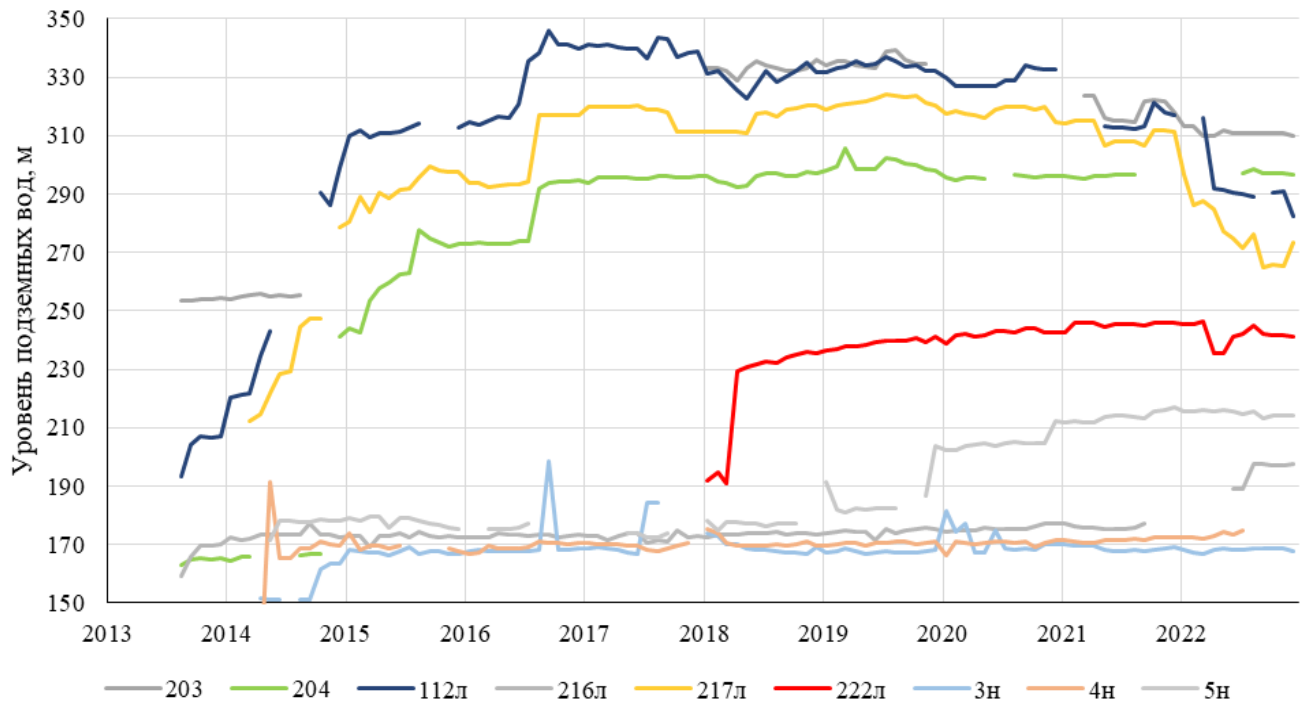


Рис. 2.19 Динамика изменения уровня воды техногенного водоносного горизонта в южной части участка «Левобережный».

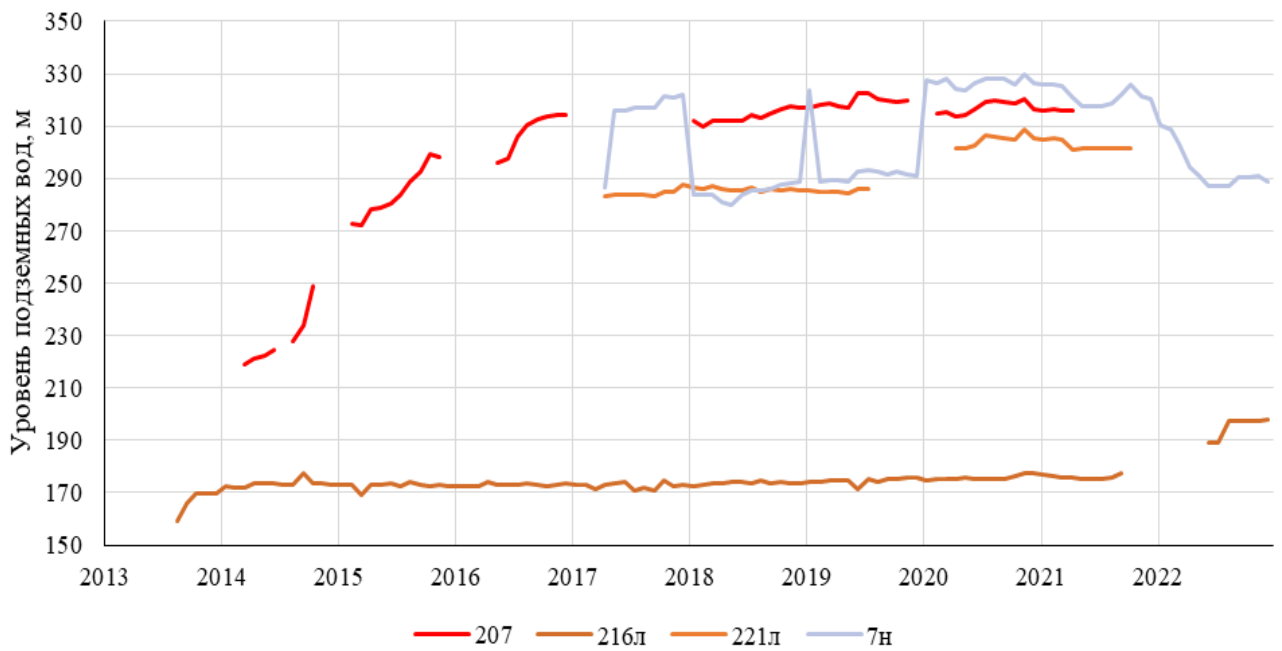


Рис. 2.20 Динамика изменения уровня воды техногенного водоносного горизонта в восточной части участка «Левобережный».

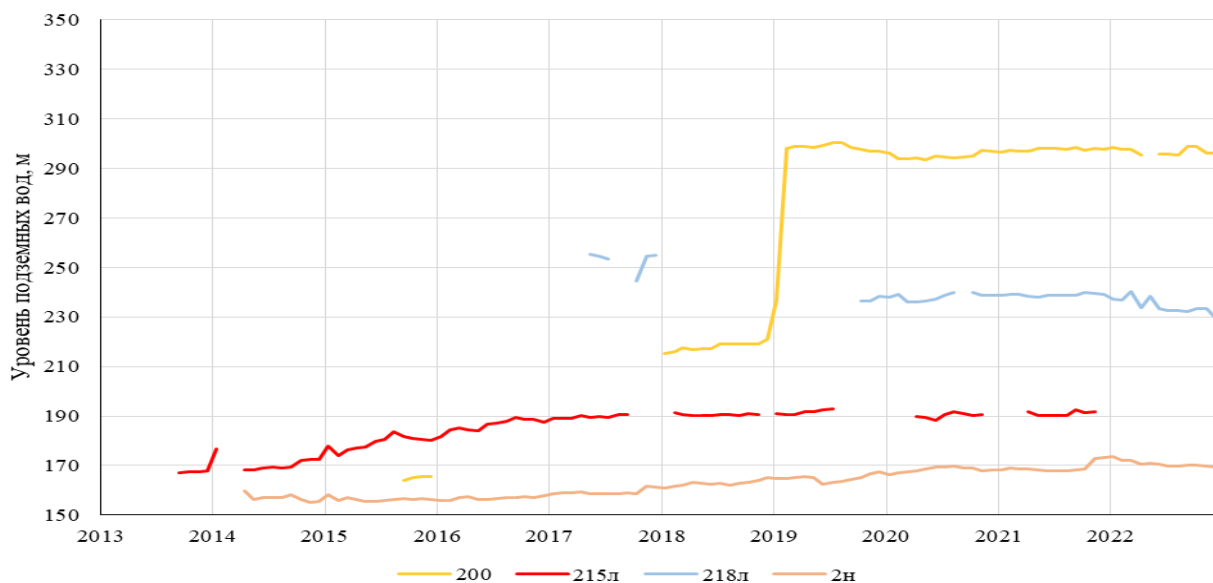


Рис. 2.21 Динамика изменения уровня воды техногенного водоносного горизонта в западной части участка «Левобережный».

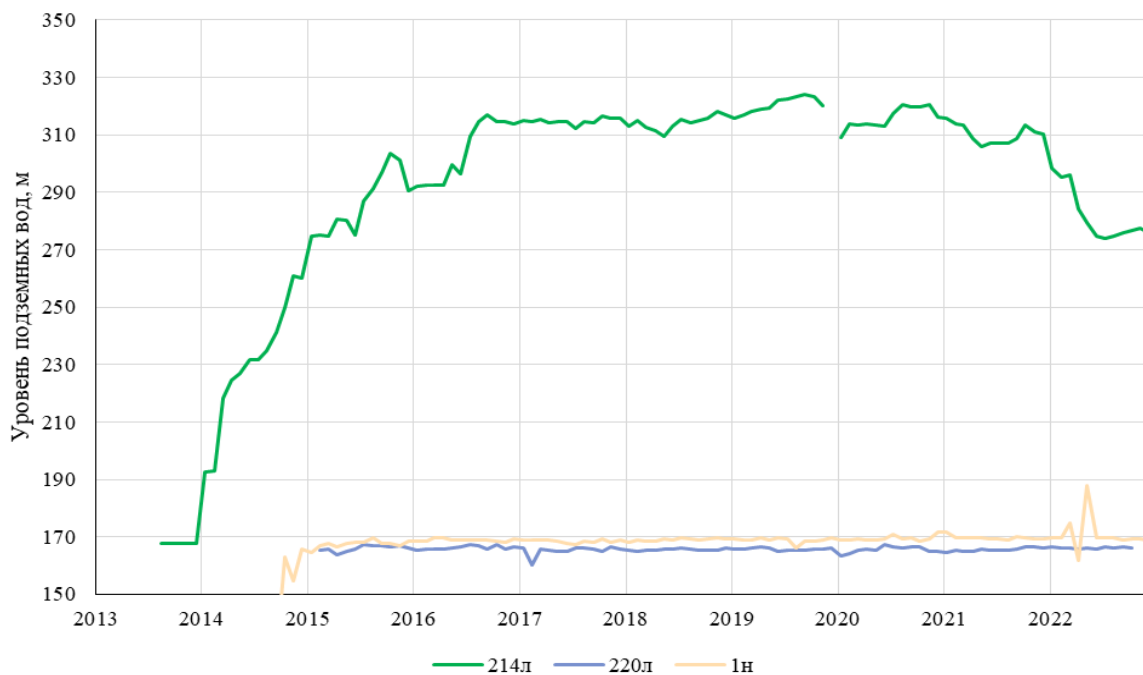


Рис. 2.22 Динамика изменения уровня воды техногенного водоносного горизонта в южной части участка «Левобережный».

Определение параметров проводилось по результатам эксплуатации на стадии снижения и повышения уровня в эксплуатационных скважинах. Началу расчётов предшествовала качественная интерпретация графиков, построенных в координатах: $S - lgt$. На кривых графиков отмечается влияние неоднородности среды, так называемый эффект «двойной пористости». Расчёты были выполнены программным продуктом ANSDIMAT с помощью графоаналитического метода по участкам графиков, отвечающих квазистационарному режиму фильтрации.

Расчётные характеристики по центральным (возмущающим) скважинам такие, как удельное водопоглощение и коэффициент приёмистости, рассчитывались с применением стандартных решений динамики подземных вод.

Удельное водопоглощение для центральных (возмущающих) скважин определяем по формуле:

$$W = \frac{Q}{S} \quad (1)$$

где: Q – дебит налива;

S – повышение уровня в скважине.

Коэффициент приёмистости для центральных (возмущающих) скважин рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{Q}{P} \quad (2)$$

где: Q – дебит налива;

P – давление, создаваемое на подошву проницаемого коллектора.

Подошвы коллекторов (поглощающих интервалов) были определены по результатам геофизических исследований (расходомерии).

Результаты выполненных расчетов приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11

Основные гидродинамические коэффициенты участка «Левобережный»

№ п/п	№ скважины	Коэффициент водопроницаемости K_m , м ² /сут	Удельное водопоглощение W , м ³ /час на 1 метр понижения	Максимальная приёмистость, м ³ /час
1	1з	80	0,68	68,2
2	2з	89	0,69	68,8
3	3з	91	0,70	70,0
4	4з	94	0,72	72,3
5	5з	94	0,72	72,3
6	6з	76	0,59	58,8
7	7з	108	0,84	83,5
8	8з	108	0,84	83,5
9	9з	79	0,68	67,9
10	10з	88	0,69	69,5
11	11з	108	0,84	83,5
12	12з	109	0,84	83,6
13	13з	160	1,28	128,0
14	14з	160	1,28	128,0
15	15з	120	1,01	112,0
16	16з	130	1,01	112,0
17	17з	160	1,28	128,0
18	18з	160	1,28	128,4

Анализируя полученные данные можно сделать следующие выводы:

1. Результатом опытно-промышленной эксплуатации участка «Левобережный» стало существенное увеличение фильтрационных параметров (в 5 раз), характеризующих техногенный таликовый водоносный горизонт.

2. Полученные результаты коэффициентов водопроницаемости и приемистости, однозначно позволяют говорить, что максимальными параметрами характеризуется центральная и восточная часть участка. Это делает обоснованной эксплуатацию в доминирующем объемном режиме восточного ряда (№ 13з-18з) закачных скважин. Что обусловлено не только полученными расчетными параметрами, но и плановым расположением данных скважин (на максимальном удалении от существующих поверхностных водотоков).

Емкостные параметры участка можно отследить по динамике уровенного режима, описывающего распространение воды в ММП в плане и разрезе. Максимальное повышение уровня на участке «Левобережный» прогнозируемо наблюдалось в центре закачки, в южном и юго-западном, северном направлениях. Необходимо отметить, что после трехкратного уменьшения интенсивности закачки в 2022 г. в центральной части участка произошло прогнозируемое изменение уровня вод в техногенном водоносном горизонте, составляющее от 10 до 50 м (рис. 2.23).

В таблице 2.12 приведены результаты проведенных расчетов коэффициента эффективной (гравитационной) емкости техногенного водоносного горизонта по фактическим данным с 2013 по 2022 гг.

$$\mu = V_з / (S * h_{\max} / 3)$$

$V_з$ – объем закачки за год, м³,

S – площадь растекания на конец года, м²,

h_{\max} – мощность дренажного горизонта в центре закачки, м

Анализ изменения уровенного режима в техногенном водоносном горизонте и верхнекембрийском водоносном комплексе позволил выявить факт перетекания и формирования прямых гидравлических связей. В процессе моделирования гидрогеологических условий участка данный факт был также подтвержден. Рассчитанный по результатам моделирования переток из техногенного водоносного горизонта в ВВК составил 4570 м³/сут.

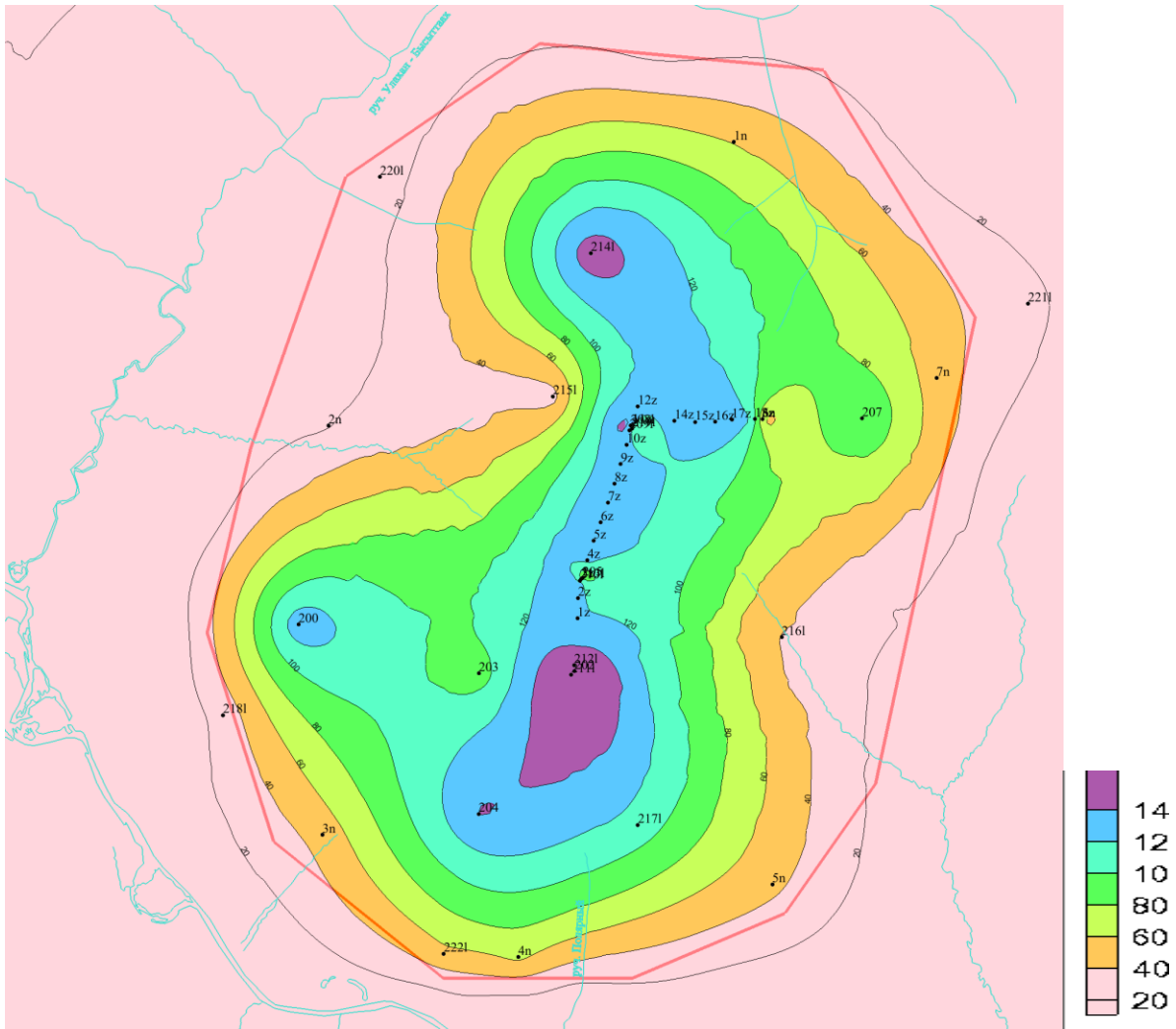


Рис. 2.23 Динамика изменения уровня в пределах участка.

Таблица 2.12

Расчет эффективной емкости участка Левобережный.

год	Накопленный объем закачки в конце года, тыс. м ³	Площадь растекания, м ²	Мощность техногенного горизонта в центре, м	Коэффициент эффективной емкости, д ед.
2013	1042,3	21,3	104	0,0014
2014	3663	22,6	161	0,0030
2015	6980,7	26,96	175	0,0044
2016	9724,2	30,6	190	0,0050
2017	12518,8	37	189	0,0054
2018	15292,8	41	192	0,0058
2019	18227,4	51,5	190	0,0056
2020	20015,1	52,7	187	0,0061
2021	21258,4	49,6	170	0,0076
2022	22002,5	52,4	178	0,0071

Дополнительно параметр перетекания можно оценить аналитически (табл. 2.13), исходя из сложившихся криогидрогеологических условий участка: разницы уровней между водоносными горизонтами, мощности и размеров гидродинамических окон.

$$Q = k * \frac{H_{\text{ММП}} - H_{\text{ВВК}}}{m} * F$$

k – коэффициент фильтрации верхнекембрийского водоносного комплекса, м/сут;

$H_{\text{ММП}}$ – уровень воды техногенного горизонта в центре закачки, м;

$H_{\text{ВВК}}$ – уровень воды в верхнекембрийском водоносном комплексе до начала закачки, м;

m – мощность разделяющего слоя между техногенным и верхнекембрийским водоносным комплексом, м;

F – предполагаемая площадь гидродинамического окна в пределах ряда закачных скважин, м².

Таблица 2.13

Оценка перетока дренажных рассолов в верхнекембрийский водоносный комплекс

Период, год	Предполагаемая площадь, млн м ²	Дебит перетока, м ³ /ч
2013	0,5	58
2014-2017	1	116,7
2018-2022	1,2	140

По данным оценки максимального перетока в подмерзлотный водоносный комплекс около половины емкости приходится на коллекторы многолетнемерзлых пород. Средний коэффициент эффективной емкости участка с учетом перетока изменяется в пределах 0,0009–0,004. При прогнозных расчетах на модели необходимо учитывать, что в центральной части возможны большие значения, а на периферии меньшие.

Анализ полученных значений говорит о том, что в данном случае, объект исследований, правильнее рассматривать как техногенный водоносный горизонт, в котором уже сформирован упругий режим фильтрации, в общем характерный для субнапорных водоносных горизонтов и комплексов.

Полученные в результате опытно-промышленной эксплуатации основные расчётные фильтрационные параметры подтвердили, что восточный ряд закачных скважин полностью обеспечивает текущую потребность в экологически-безопасной закачке дренажных вод рудника «Удачный», и будет способен обеспечить её в будущем (до 2028 г.), при объеме закачки не более 2,0 млн м³ в год, с расходом до 350 м³/ч. Так как в данной ситуации

ограничительной величиной выступает остаточная емкость участка, составляющая по результатам моделирования на основе имеющихся данных не менее 6,5 млн м³ (без учёта параметра перетекания), и не более 8,7 млн м³ с учётом перетекания закачиваемых вод в ВВК.

2.3. Криогидрогеологические условия в пределах участка «Левобережный-2»

Участок «Левобережный-2» расположен на левом берегу р. Далдын между ручьями Улахан-Бысытаах и Орто-Бысытаах, в 19 км северо-восточнее от трубки «Удачная». Освоение участка «Левобережный-2» началось с опытных закачек в небольших объемах в 2018 г. Опытно-промышленная эксплуатация участка в 2022 г. вышла на полный объем закачки дренажных минерализованных вод. От главной насосной станции дренажные рассолы транспортировались по водоводам к эксплуатационным (поглощающим) скважинам. Согласно проекту на строительство участка закачки дренажных вод рудника «Удачный», участок «Левобережный-2» к 2026 г. будет состоять из 39 скважин (рис. 2.24), в том числе: - 17 закачных скважин №№ 19з, 20з, 21з, 22з, 23з, 24з, 25з, 26з, 27з, 28з, 29з, 30з, 31з, 32з, 33з, 34з и 35з; - 10 наблюдательных скважин №№ 223л, 224л, 225л, 226л, 227л, 228л, 229л, 230л, 231л и 232л; - 12 опытных скважин №№ 8н, 9н, 10н, 11н, 12н, 13н, 14н, 15н, 16н, 17н, 18н и 19н, пробуренных на стадии геологического изучения участка [Янников, 2022б ф].

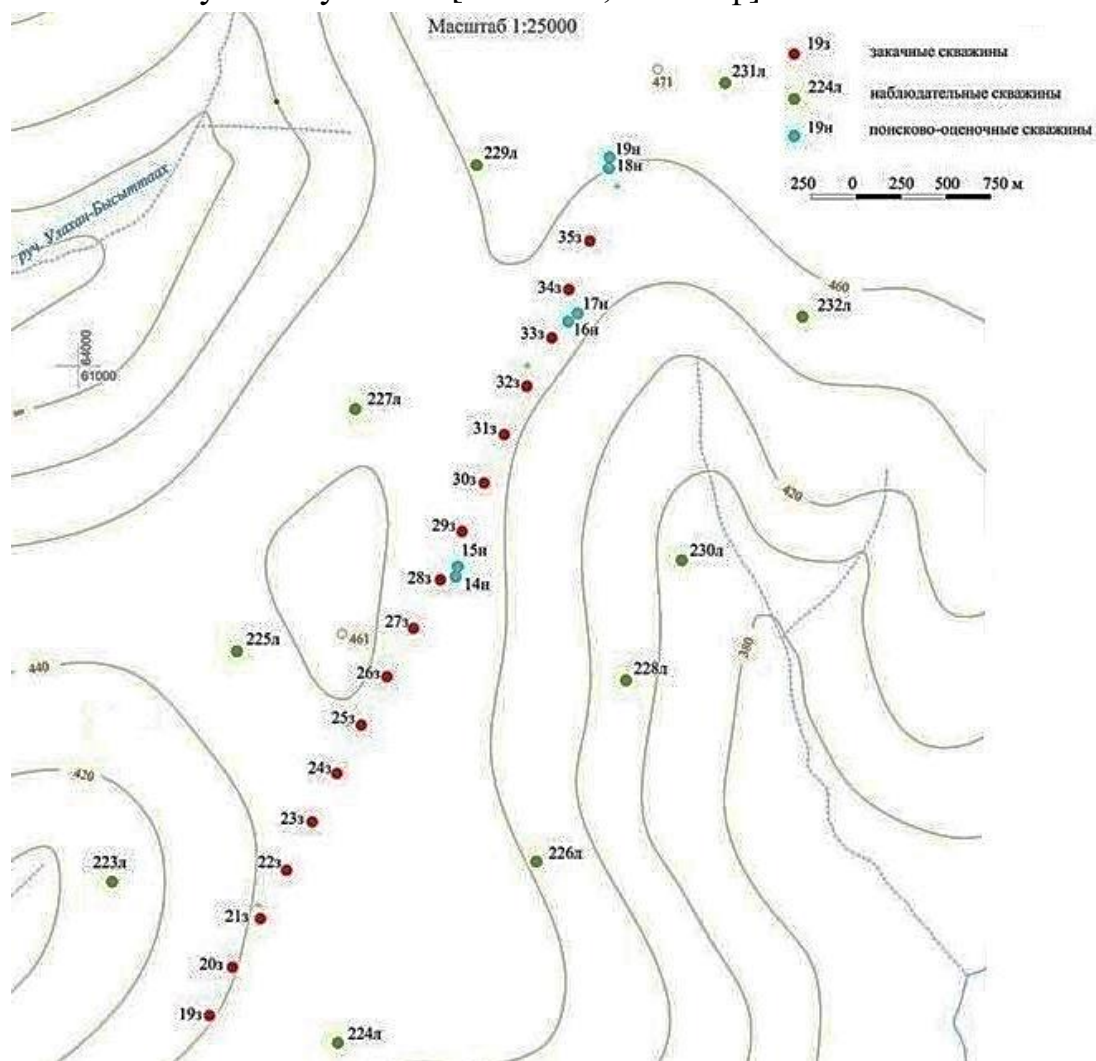


Рис. 2.24 Схема расположения наблюдательных, закачных и опытных скважин участка «Левобережный-2» на конец этапа строительства.

Участок Левобережный-2, находящийся в настоящее время в стадии строительства, является четвёртым участком закачки дренажных вод рудника «Удачный», использующим толщу ММП. В геоморфологическом плане участок является продолжением водораздельного плато между левыми притоками реки Далдын, ручьями Улахан-Бысытаах и Орто-Бысытаах, юго-западный фланг горного отвода данного участка пересекается с северо-восточным флангом участка «Левобережный» (рис. 2.25).

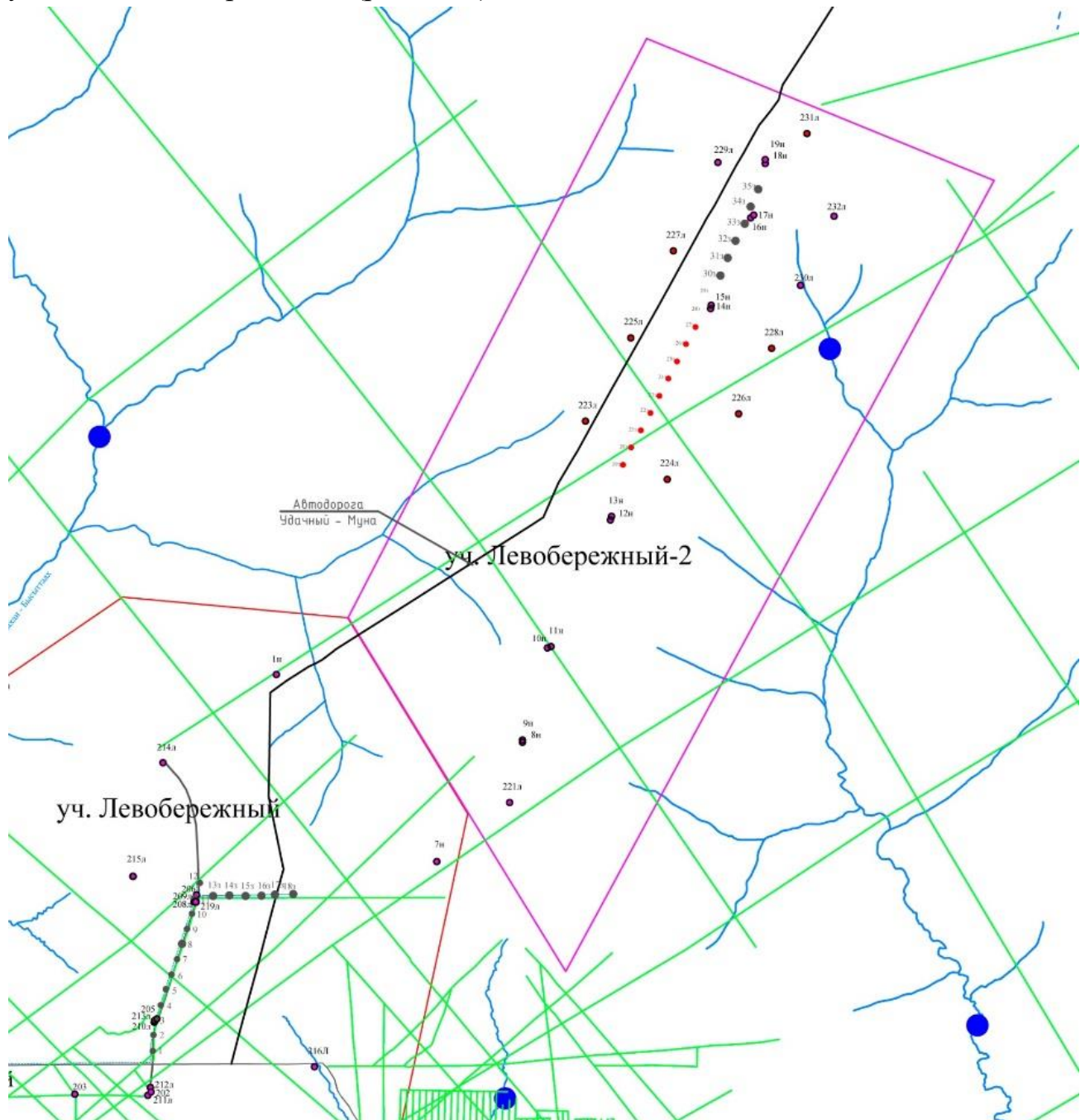


Рис. 2.25 Схема участка закачки «Левобережный-2» (составлена по материалам Вилуйской ГРЭ и Удачинского ГОКа).

В геолого-стратиграфическом разрезе толщи ММП участка принимают участие нижнепалеозойские осадочные образования: карбонатно-терригенные

отложения кембрийской системы: онхойюряхской ($\text{Є}_3 \text{on}$), моркокинской ($\text{Є}_3 \text{mrk}$) и мархинской ($\text{Є}_3 \text{mr}$) свит (табл. 2.14).

Таблица 2.14

Стратиграфическая характеристика участка «Левобережный-2»
(посвитная разбивка)

№№ скважин	Абсолютная отметка устья скважины, м.	Глубина скважины, м	Стратиграфическая классификация			
			в абсолютных отметках по подошве свиты, м			
			по глубине, м			
			мощность свиты, м.			
			Онхойюряхская (пласт №20)	Моркокинская (пласты №№ 21-23)		Мархинская (пласты №24 и №25)
$\text{Є}_3 \text{on}_1$	$\text{Є}_3 \text{mrk}_2$	$\text{Є}_3 \text{mrk}_1$	$\text{Є}_3 \text{mrh}^4$			
1	2	3	4	5	6	7
8н	462,0	270	434,5	363,4	264,0	192,0
			27,5	98,6	174,0	270,0
			27,5	71,1	75,4	96,0
9н	461,0	238	434,3	363,3	263,0	223,0
			26,7	97,7	198,0	238,0
			26,7	71,0	100,3	40,0
10н	429,0	270		367,0	265,0	159,0
				62,0	164	270,0
				62,0	102,0	106,0
11н	429,0	270		366,6	265,9	159,0
				62,4	163,1	270,0
				62,4	100,7	106,9
12н	448,0	270		385,0	282,0	178,0
				63,0	166,0	270,0
				63	103,0	104,0
13н	444,0	270		380,6	278,5	174,0
				63,4	165,5	270,0
				63,4	102,1	104,5
14н	449,1	213		387,6	284,1	236,1
				61,5	165,0	213,0
				61,5	103,5	48,0
15н	448,0	210		387,3	284,1	238,0
				60,7	163,9	210,0
				60,7	103,2	46,1
16н	442,0	270		395,4	291,5	172,0
				46,6	150,5	270,0
				46,6	103,9	119,5
17н	441,2	270		395,6	291,2	171,2
				45,6	150	270,0
				45,6	104,4	120

продолжение таблицы 2.14

1	2	3	4	5	6	7
18н	459,2	270		397,0	292,4	189,2
				62,2	166,8	270,0
				62,2	104,6	103,2
19н	461,3	270		397,0	293,1	191,3
				64,3	168,2	270,0
				64,3	103,9	101,8

Мархинская свита ($\text{Є}_3\text{mrh}^4$)

Отложения мархинской свиты являются основным поглощающим интервалом при проведении ОФР. Отложения представлены неравномерным чередованием глинистых серо-цветных известняков, местами с зеленоватым оттенком, битуминозных известняков от светло- до темно-коричневого цвета, доломита серого и зеленовато-серого цвета, с прослоями светло-зеленых мергелей. Залегает со стратиграфическим несогласием на отложениях известняково-доломитовой толщи ($\text{Є}_2 \text{id}$). Мархинская свита перекрывается отложениями моркокинской свиты ($\text{Є}_3 \text{mrk}$). Вскрытая мощность отложений от 40,0 м до 120,0 м. Отложения представлены:

– известняками доломитовыми серого цвета с коричневатым оттенком и серого с зеленоватым оттенком, неяснослоистыми за счет переслаивания известняков органогенно-обломочных перекристаллизованных с порами выщелачивания кальцита и известняков водорослевых алевритистых сахаровидных (рис. 2.26);



Рис. 2.26 Известняк с открытыми сингенетическими трещинами (скважина 8н, глубина отбора 241 м).

– известняками серыми брекчиевидными за счет неравномерной перекристаллизации, слабо пиритизированными, пористо-мелко-кавернозными: поры, каверны и единичные короткие трещины выполнены битумом (рис. 2.27);



Рис. 2.27 Известняк с открытыми кавернами (скв 10н, глубина отбора 242 м).

– известняками сероцветными неравномерно перекристаллизованными, окремненными, слабо пиритизированными, с порами и мелкими кавернами выщелачивания, выполненными битумом (рис. 2.28);



Рис. 2.28 Известняк с открытыми кавернами (скв 14н, глубина отбора 151 м).

– доломитами алевролитистыми сероцветными неяснослоистыми, из-за наличия темных глинистых, слабо пиритизированных пропластков (рис. 2.29);



Рис. 2.29 Доломит с открытыми сингенетическими трещинами и кавернами (скважина 13н, глубина отбора 250 м).

– доломитами известковистыми сероцветными с коричневатым оттенком, водорослевыми микросгустковыми, кальцитизированными, неравномерно пористыми с редкими кавернами выщелачивания кальцита, слабо пиритизированными;

– доломитами алевролитистыми светло-серого цвета с коричневатым оттенком, слоистыми за счет присутствия тонких более темных глинистых пропластков;

– мергелями (рис. 2.30) от светло-зеленого до сероватого цвета, с различными цветовыми оттенками, слоистыми. Слоистость субгоризонтальная параллельная. Порода кавернозная, каверны заполнены льдом.



Рис. 2.30 Мергели с открытыми сингенетическими трещинами (скважина 10н, глубина отбора 202 м).

Подземные воды верхнекембрийского водоносного комплекса (ВВК) в пределах участка вскрываются частью скважин (кусты №№ 1-3) на глубинах 188,5–216,0 м. Напор составляет от 20,6 м до 71,0 м (таблица 2.15).

Таблица 2.15

Информация по ВВК в пределах участка

№ п/п	№ скважины	Куст	Глубина вскрытия вод ВВК, м	Напор, м
1	8н	№1	239,0	70,0
2	9н	№1	238,0	71,0
3	10н	№2	188,5	34,2
4	11н	№2	194,0	38,2
5	12н	№3	206,0	20,6
6	13н	№3	216,0	32,9
7	14н	№4	<i>ВВК не вскрывается</i>	
8	15н	№4	<i>ВВК не вскрывается</i>	
9	16н	№5	<i>ВВК не вскрывается</i>	
10	17н	№5	<i>ВВК не вскрывается</i>	
11	18н	№6	<i>ВВК не вскрывается</i>	
12	19н	№6	<i>ВВК не вскрывается</i>	

По результатам лабораторных исследований коэффициент открытой пористости ($K_{поткр}$) отложений варьирует в пределах 4,81–21,86%, средняя величина 12,69%. Коэффициент эффективной пористости ($K_{пэф}$) составляет 1,09–17,8%, средняя величина 6,27%. Коэффициент остаточной водонасыщенности ($K_{ов}$) изменяется от 18,6 до 92,6 % при средней величине 60,5 %. Коэффициент пористости ($K_{пл}$), определённый для пластовых условий, изменяется от 4,7 до 21,8 % (средняя величина 12,87 %). Величина влажности пород, определённая в лабораторных условиях, варьирует в пределах 0,6–3,6%, средняя величина 1,8%.

Скважины вскрывают зоны повышенной трещиноватости в интервалах 198,0–214,3 м, 224,0–227,0 м, 231,7–246,2 м. В целом описываемый массив разнороден, выделяются интервалы, относящиеся к различным классам трещиноватости от II до V. При этом доминирующее положение (свыше 60 %) занимают интервалы, которые можно отнести к III и IV классу трещиноватости пород.

Моркокинская свита ($\epsilon_3 mrk_1$)

Отложения моркокинской свиты ($\epsilon_3 mrk$) представлены двумя пачками: нижней ($\epsilon_3 mrk_1$) и верхней ($\epsilon_3 mrk_2$). Подстилающей свитой являются породы мархинских отложений. Нижняя граница вскрыта на глубинах от 150 м (скважина 16 н) до 174 м (скважина 8 н). Перекрываются отложениями пород

онхойюряхской свиты ($\text{Є}_3 \text{ on}_1$). Верхняя граница моркокинских отложений находится на глубине от 2,5 м до 27,5 м. *К нижней пачке ($\text{Є}_3 \text{ mrk}_1$) приурочены геофизические пласты 22 и 23 [Ильков и др., 2012ф, 2015ф, 2016ф].*

Отложения представлены неравномерным чередованием глинистых серых, зеленовато-серых известняков, битуминозных известняков от светло- до темно-коричневого цвета, доломита серого и зеленовато-серого цвета, с прослоями светло-зеленых и светло-красных мергелей.

Вскрытая мощность отложений от 75,4 м (скважина 8н) до 104,6 м (скважина 18 н). Ниже приведена подробная характеристика пород.

Куст 1: Мощность нижней пачки моркокинской свиты 99,4-100,3 м. Отложения представлены:

- глинистыми известняками серыми, зеленовато-серыми, косослоистыми, отмечаются редкие пятна ожелезнения;
- глинистыми известняками светло-серыми с зеленоватым и желтоватым оттенком, слоистыми, без вторичных изменений;
- известняками от зеленоватого до серого цвета, местами с бурым оттенком, с повсеместными пятнами ожелезнения, трещины заполнены льдом;
- мергелями светло-серыми, светло-зелеными, косоволнистыми, прослеживаются редкие стилолитовые швы. Порода кавернозная, каверны пустые, заполненные льдом;
- мергелями светло-красными, косоволнистыми;
- доломитами серыми, неяснослоистыми, прочными, без вторичных изменений;
- доломитизированными известняками серыми, с красноватым оттенком, без вторичных изменений.

Трещиноватость отмечается по всему интервалу. Трещины разноориентированные, по трещинам отмечается лёд, глинистый материал и ожелезнение. Каверны единичные, залечены льдом. По степени трещиноватости массив сильно трещиноватый (класс трещиноватости пород III – IV).

Куст 2: Мощность нижней пачки моркокинской свиты от 100,7 м до 102,0 м. Отложения представлены:

- известняками глинистыми зеленовато-серого цвета, слоистыми;
- известняками глинистыми от светло- до темно-зеленого цвета, слоистыми. Слоистость волнисто-линзовидная, субгоризонтальная, обусловлена переслаиванием слоев с различным содержанием глинистых частиц;

– известняками темно-серого цвета, слоистыми. Слоистость субгоризонтальная параллельная и обусловлена переслаиванием тонко- и скрытозернистых структур;

- известняками кремово-серого цвета, крепкими;
- известняками окварцованными серого цвета;
- доломитами от серого до зеленовато-серого цвета, слоистыми;
- мергелями пестроцветными, слоистыми.

Трещиноватость по всему интервалу средняя. Трещины тонкие разноориентированные, волнистые, открытого типа, заполненные льдом и глинистым материалом. Единичные каверны частично заполнены прозрачным льдом и кальцитом от белого до прозрачного цвета.

Скважины вскрывают зоны трещиноватости в интервале 55,8–163,9 м. В целом массив относится к III и IV классу трещиноватости пород.

Куст 3: Мощность нижней пачки моркокинской свиты от 102,1 м до 103 м. Отложения представлены:

- мергелями светло-красного, зеленовато-серого цвета, слоистыми;
- глинистыми известняками от серого до светло-зеленого цвета, косослоистыми. Слоистость обусловлена чередованием слоев с различным содержанием глинистых частиц, слоистость волнистая. Вторичных изменений не наблюдается;
- известняками коричневатого-серого цвета, слоистыми, крепкими;
- доломитами серого цвета с зеленоватым оттенком. Слоистость обусловлена чередованием слоев с различным содержанием глинистых частиц в породе;

Пористость и кавернозность приурочены к подошвенной части свиты. Трещиноватость повсеместная. Трещины прямые и волнистые, заполненные льдом, глинистым материалом и прозрачным бесцветным кальцитом. Ожелезнение преимущественно по поверхности трещин.

Скважины вскрывают в основном породы средней степени трещиноватости. Основная часть интервала (79 %) относится к III классу трещиноватости. Интенсивно трещиноватых пород лишь 21% и относятся они к IV классу трещиноватости.

Куст 4: Мощность нижней пачки моркокинской свиты от 103 м. Отложения представлены:

- известняками глинистыми светло-серого цвета, слоистыми;
- известняками битуминозными светло-серого и темно-коричневого цвета, крепкими, плотными, слоистыми;

- мергелями красновато-бурого цвета, слоистыми;
- мергелями светло-зеленого цвета, слоистыми;

Трещиноватость по всему интервалу средняя (III класс). Трещины тонкие разноориентированные, волнистые, открытого типа, заполненные льдом, реже глинистым материалом. Редкие стиллолитовые швы с амплитудой до 3 см.

Куст 5: Мощность нижней пачки моркокинской свиты 104 м. Отложения представлены:

- известняками светло-серого цвета с прослоями коричневого, слоистыми;
- глинистыми известняками светло-серого цвета, слоистыми;
- доломитизированными известняками белого цвета с серым оттенком, плотными, массивными, крепкими;
- мергелями красноватыми, серыми косоволнистыми;

Трещины имеют волнистый излом, закрытого и открытого типов, заполнителем является глинистый материал. Ожелезнение редкое, преимущественно по поверхности трещин. Редкие стиллолитовые швы с амплитудой до 1,5 см. По степени трещиноватости массив сильно трещиноватый (класс трещиноватости пород III – IV).

Куст 6: Мощность нижней пачки моркокинской свиты 104 м. Отложения представлены:

- известняками светло-серого и серого цвета, крепкими, плотными, слоистыми;
- известняками окварцованными кремово-серого цвета, массивными, крепкими, плотными;
- известняками глинистыми зеленовато-серого цвета, слоистыми, крепкими, плотными, слоистыми;
- доломитами светло-голубовато-серого цвета, крепкими и плотными;
- мергелями пестроцветными, слоистыми.

Трещиноватость отмечается по всему интервалу. Трещины тонкие разноориентированные, волнистые, открытого и закрытого типа, заполненные льдом и глинистым материалом. В целом массив пород по степени трещиноватости неоднороден и изменяется от II до IV класса.

К верхней пачке ($\epsilon_3 \text{trk}_2$) приурочен геофизический пласт 21.

Отложения представлены неравномерным чередованием зеленовато-серых глинистых известняков, светло-зеленых известняков, битуминозных известняков светло-коричневого цвета, доломитизированных известняков светло-серого цвета, с прослоями светло-зеленых мергелей. Вскрытая мощность отложений от 42,8 м (в районе куста 5, скважина 17н) до 71,1 м (в районе куста 1, скважина 8н). Ниже приведена подробная характеристика пород.

Куст 1: Мощность верхней пачки моркокинской свиты 71,1 м. Отложения представлены:

- известняками светло-зеленого, бледно-серого и серого цвета, косоволнистыми;
- известняками с коричневым оттенком, косоволнистыми;
- глинистыми известняками от зеленоватого до серого цвета, слоистыми;
- мергелями светло-зелеными;
- доломитизированными известняками светло-серого цвета с коричневым оттенком, массивными;

Трещиноватость отмечается по всему интервалу. Трещины тонкие разноориентированные. По трещинам отмечается лёд, глинистый материал. Пористость и кавернозность редка. Частично поры и каверны залечены льдом. В целом массив пород по степени трещиноватости неоднороден и изменяется от II до IV класса.

Куст 2: Мощность верхней пачки моркокинской свиты 61,0-61,4 м. Отложения представлены:

- известняками серыми с кремовым оттенком, слоистыми, крепкими;
- известняками оолитовыми светло-серого цвета, крепкими;
- известняками окварцованными серого цвета, крепкими;
- известняками глинистыми от светло- до темно-зеленого цвета, слоистыми;
- мергелями красно-бурых оттенков;
- алевритами зеленовато-серых оттенков.

Породы трещиноватые. Трещины тонкие разноориентированные, волнистые, открытого типа, заполненные льдом и глинистым материалом. По всему интервалу, встречаются немногочисленные каверны, размером до 1,0 см, пустые и заполненные прозрачным льдом. В целом массив пород по степени трещиноватости неоднороден и изменяется от II до IV класса.

Куст 3: Мощность верхней пачки моркокинской свиты от 59,4 м до 61,0 м. Отложения представлены:

- известняками от светло-зеленого до светло-серого цвета с розовым оттенком, массивными;
- известняками от серого до светло-зеленого цвета, слоистыми;
- глинистыми известняками светло-зеленого цвета, слоистыми;
- известняками доломитистыми от светло-серого до светло-розового цвета, неяснослоистыми, массивными;
- известняками глинистыми светло-зелеными, бурными, слоистыми;
- мергелями пестроцветными неяснослоистыми.

Трещины разноориентированы, заполнены глинистым материалом, реже прозрачным льдом. Отмечаются редкие пятна ожелезнения до 1,5 см и редкие каверны до 0,7 см, пустые и заполненные льдом. По степени трещиноватости массив трещиноватый (класс трещиноватости пород II-III).

Куст 4: Мощность верхней пачки моркокинской свиты 61 м. Отложения представлены:

- известняками светло-серого цвета, крепкими, массивными;
- известняками окремненными светло-коричневого цвета, крепкими;
- мергелями пестроцветными, слоистыми;
- доломитами светло-серыми, массивными, плотными;

Трещины закрытого и открытого типов, заполненные как льдом, так и глинистым материалом. Характерно повсеместное неравномерное ожелезнение, преимущественно по поверхности трещин. Встречаются редкие мелкие каверны от 0,2 до 0,5 см, полость которых заполнена льдом или пустые. Породы, за редким исключением, можно отнести к II классу трещиноватости.

Куст 5: Мощность верхней пачки моркокинской свиты 43 м. Отложения представлены:

- глинистыми известняками от серого до светло-коричневого цвета, косоволнистыми;
- известняками светло-серого цвета, с розоватым оттенком, массивными, слоистыми;
- мергелями пестроцветными;
- доломитами от светло-серого до светло-розового цвета, плотными, массивными.

Трещины, заполненные глиной, реже льдом, закрытого и открытого типов. Отмечается кавернозность. Каверны пустые и заполнены льдом. Породы относятся преимущественно к III классу трещиноватости.

Куст 6: Мощность верхней пачки моркокинской свиты 60 м. Отложения представлены:

- известняками светло-кремово-серого цвета, крепкими, плотными, слоистыми;
- известняками окварцованными кремово-серого цвета, массивными, крепкими, плотными;
- известняками глинистыми светло-серого цвета с зеленоватым оттенком, крепкими, плотными, слоистыми.

Трещины разноориентированы, закрытого и открытого типов, заполненные льдом и глинистым материалом. Породы относятся преимущественно к III классу трещиноватости.

Онхойюряхская свита ($\text{Є}_3 \text{on}_1$)

К отложениям онхойюряхской свиты ($\text{Є}_3 \text{on}_1$) приурочен геофизический пласт 20.

Описываемый массив состоит из глинистых известняков зеленоватого цвета и доломитистых известняков от серого до светло-коричневого цвета. Отложения вскрыты лишь скважинами 8н и 9н. Свита согласно залегает на моркокинской свите. Вскрытая мощность отложений от 22,2 м до 23,0 м. Отложения представлены:

- известняками от светло-зеленого до зеленоватого цвета, косоволнистыми;
- известняками глинистыми от светло-зеленого до серого цвета, косослоистыми;
- известняками доломитистыми от серого до светло-коричневого цвета, слоистыми;

Трещины разноориентированы, субгоризонтальные закрытого и открытого типов, заполнителем является прозрачный лед, реже мутный. Породы, за редким исключением, можно отнести к II классу трещиноватости.

На участке «Левобережный-2» многолетнемерзлые породы (ММП), имеющие включения видимого льда, заполняющего поры, каверны, трещины и слагающие верхний ярус криолитозоны, имеют мощность до 290 м. Ниже располагается ярус охлаждённых пород, содержащих рассолы с отрицательной температурой (криопэги) [Климовский, Готовцев, 1994; Солопанов, Толстов, 1996].

В процессе выполнения работ в каждой скважине участка выполнялись замеры температуры по стволу. Замеры выполнялись по окончанию бурения скважин и после наливов. В целом анализ результатов режимных геотермических исследований показал, что по динамике температурного поля участка «Левобережный-2», как и на участке «Левобережный», можно выделить три геотермические зоны.

Температурный режим первой зоны формируется под влиянием поверхностных условий и показывает их специфику или степень их нарушенности.

Вторая зона должна иметь стабильное температурное поле, и в ходе эксплуатации участка дренажные воды в данную зону не должны поступить. Попадание рассолов на такие гипсометрические отметки экологически нежелательно, так как горизонт залегает выше местного базиса эрозии.

Температурный режим третьей зоны зависит от режима закачки рассолов, поэтому по динамике ее температурного режима должна производиться

корректировка режима эксплуатации всей системы закачки [Промышленные рассолы ... , 2014].

Для определения интервалов коллекторов в толще ММП был выполнен комплекс ГИС и проведены исследования керна в сертифицированных лабораториях, результаты приведены в таблицах 2.16 и 2.17.

Таблица 2.16

Коллекторы, выделенные методами ГИС

№ скважины	Интервал коллекторов, от-до, м.	Суммарная мощность, м	Кп по НГК (средняя), %
1	2	3	4
13Н	186,9-266,4 (в том числе: 186,9-187,6; 203,2-203,7; 206,2-207,0; 208,3-209,7; 217,0-218,7; 221,3-221,9; 223,7-224,3; 229,1-230,0; 235,3-236,2; 240,7-242,0; 244,1-245,3; 256,5-258,4; 261,0-262,0; 264,5-266,4).	15,4	15,8
14Н	147,9-208,9 (в том числе: 147,9-149,2; 154,2-154,8; 155,9-156,8; 159,5-160,2; 164,0-164,8; 168,1-168,9; 170,6-171,4; 180,7-181,7; 183,2-183,7; 187,1-188,0; 191,2-192,1; 195,9-196,8; 198,5-199,2; 202,9-203,3; 206,0-206,5; 208,0-208,9).	12,6	16,9
15Н	152,9-208,0 (в том числе: 152,9-153,9; 169,3-170,0; 175,0-175,9; 179,5-180,5; 185,6-186,5; 201,8-202,1; 206,8-208,0).	6,0	14,0
16Н	153,5-268,7 (в том числе: 153,5-154,0; 156,2-156,7; 158,8-159,2; 161,8-162,2; 165,8-166,2; 168,0-168,7; 171,8-173,0; 181,0-181,6; 188,2-188,8; 190,4-190,9; 191,6-191,9; 193,8-194,4; 195,2-195,6; 201,7-202,7; 205,8-206,3; 213,7-214,2; 220,1-221; 222-222,3; 226,5-227,5; 230,8-231,6; 243,3-245,4; 247,8-248,6; 259,6-260,1; 261,2-261,6; 262,1-262,6; 264,1-264,4; 265,6-266,0; 268,3-268,7).	17,5	16,5
17Н	147,9-269,9 (в том числе: 147,9-149,6; 155,0-155,6; 157,6-158,1; 160,3-161,1; 166,7-167,5; 170,7-171,9; 173,1-173,6; 175,0-175,6; 186,9-187,6; 192,1-193,4; 204,7-205,1; 212,5-213,2; 218,7-219,8; 225,2-226,5; 229,5-230,5; 242,1-244,1; 246,6-247,6; 250,2-251,0; 251,5-252,0; 254,8-255,9; 269,4-269,9).	19,1	16,3

продолжение таблицы 2.16

1	2	3	4
18Н	150,5-269,5 (в том числе: 150,5-151,1; 155,7-156,4; 157,3-159,3; 160,9-161,6; 163,6-164,0; 165,2-166,5; 184,3-184,9; 188,3-189,3; 190,6-191,1; 192,5-193,2; 196,9-197,6; 199,8-200,2; 201,3-204,9; 206,4-208,3; 209,7-210,7; 218,1-219,4; 222,2-222,9; 225,1-225,6; 230,3-230,9; 236,3-237,5; 242,8-243,7; 247,0-247,8; 251,2-251,8; 259,7-261,4; 263,7-264,6; 267,3-268,5; 268,5-269,5).	27,5	13,3
19Н	151,4-266,2 (в том числе: 151,4-152,0; 162,4-163,3; 166,5-167,7; 183,0-184,5; 185,6-186,6; 189,6-190,4; 198,4-199,8; 207,8-208,8; 219,4-221,2; 223,7-224,5; 231,5-232,5; 237,6-238,9; 244,1-245,3; 248,1-249,3; 258,3-259; 261,1-262,7; 265,1-266,2).	16,7	15,4

Таблица 2.17

Результаты определения коллекторских свойств

№ п/п	№ скв.	Геологический номер образца	Интервал, м	Литология	Коэффициент открытой пористости, Кп ₂ %
1	2	3	4	5	6
1	8-н	8-н/5(190,0)	190,0 – 190,3	Известняк	4,8
2	8-н	8-н/6(203,0)	203,0 – 203,3	Известняк	15,45
3	8-н	8-н/7(213,0)	213,0 – 213,3	Доломит	6,83
4	8-н	8-н/10(241,0)	241,0 – 241,3	Доломит	3,19
5	8-н	8-н/11(252,0)	252,0 – 252,3	Известняк	6,43
Среднее по скважине					7,34
6	9-н	9-н/5(192,0)	192,0 – 192,3	Известняк	7,18
Среднее по скважине					7,18
7	10-н	10-н/8(220,0)	220 – 220,3	Мергель	11,01
8	10-н	10-н/10(242,0)	242 – 242,3	Известняк	1,61
Среднее по скважине					6,31
9	11-н	11-н/2(165,0)	165,0 – 165,3	Известняк	16,61
10	11-н	11-н/8(221,0)	221,0 – 221,3	Мергель	7,07
11	11-н	11-н/10(242,0)	242,0 – 242,3	Известняк	2,39
12	11-н	11-н/11(252,0)	252,0 – 252,3	Мергель	3,77
Среднее по скважине					7,46
13	12-н	12-н/4(180,0)	180,0 – 180,3	Известняк	3,62
14	12-н	12-н/5(190,0)	190,0 – 190,3	Известняк	0,35
15	12-н	12-н/6(200,0)	200,0 – 200,3	Известняк	1,67
Среднее по скважине					1,88

продолжение таблицы 2.17

1	2	3	4	5	6
16	14-н	14-н/2(160,0)	160,0 – 160,3	Известняк	3,38
17	14-н	14-н/4(180,0)	180,0 – 180,3	Известняк	14,22
Среднее по скважине					8,80
18	15-н	15-н/1(151,0)	151,0 – 151,3	Известняк	1,79
19	15-н	15-н/4(181,0)	181,0 – 181,3	Мергель	1,06
Среднее по скважине					1,43
20	16-н	16-н/2(162,0)	162,0 – 162,3	Известняк	5,26
21	16-н	16-н/3(173,0)	173,0 – 173,3	Известняк	6,31
22	16-н	16-н/8(225,7)	225,7 – 226	Известняк	5
23	16-н	16-н/9(231,0)	231,0 – 231,3	Известняк	7,8
Среднее по скважине					6,09
24	17-н	17-н/1(153,0)	153,0 – 153,3	Известняк	12,5
25	17-н	17-н/3(171,0)	171,0 – 171,3	Известняк	4,91
26	17-н	17-н/5(193,0)	193,0 – 193,3	Известняк	9,98
27	17-н	17-н/6(203,0)	203,0 – 203,3	Известняк	10,94
28	17-н	17-н/9(230,0)	230,0 – 230,3	Известняк	3,18
Среднее по скважине					8,30
29	18-н	18-н/1(150,0)	150,0 – 150,8	Известняк	4,06
30	18-н	18-н/2(163,0)	163,0 – 163,3 -	Известняк	7,44
31	18-н	18-н/3(176,5)	176,5 – 176,8	Известняк	3,55
32	18-н	18-н/8(236,5)	236,5 – 236,8	Доломит	4,75
33	18-н	18-н/9(246,5)	246,5 – 246,8	Известняк	5,19
34	18-н	18-н/10(255,5)	255,5 – 255,8	Доломит	11
Среднее по скважине					6,00
35	19-н	19-н/4(186,0)	186,0 – 186,3	Известняк	13,6
37	19-н	19-н/10(247,0)	247,0 – 247,3	Известняк	2,74
38	19-н	19-н/12(269,5)	269,5 – 269,8	Доломит	10,5
Среднее по скважине					8,95

Опробование коллекторов толщи ММП проводилось при помощи опытных наливов, проводимых по классическим одиночной и кустовой схемам [Медведев и др., 2004]. При кустовой схеме: центральная скважина – возмущающая, периферийные – наблюдательные. Все скважины, расположенные на участке, были опробованы долговременными наливками продолжительностью от 10 до 30 суток.

Во время опытно-промышленной эксплуатации участка предполагается одновременное использование 8 закачных скважин, которые, в случае кольматации проницаемых коллекторов и уменьшения поглощающей способности, отключаются от системы обратной закачки, с последующим

восстановлением фильтрационных параметров коллекторов в прискважинной зоне. Для этого подводящие водоводы к эксплуатационным скважинам были оборудованы регулирующими задвижками.

В течение всего периода опытной эксплуатации участка «Левобережный-2» строго соблюдалось основное требование при закачке дренажных рассолов в коллекторы ММП – поддержание уровней в формирующемся техногенном водоносном горизонте на определенных в пределах участка экологически безопасных отметках, исключающих разгрузку закачиваемых вод и их самоизлив из наблюдательных скважин.

Закачиваемые на участке в толщу ММП рассолы распространяются в плане и через стволы скважин, вскрывших ВВК, создают дополнительный напор в верхнекембрийском водоносном комплексе, который, в свою очередь, вызывает подъем уровней в скважинах ВВК. Такое взаимодействие (слияние) закачиваемых рассолов с рассолами ВВК вполне закономерно и не вызывает опасений при условии поддержания уровней в ВВК ниже уреза речной сети (+290 м абс.), что подтверждается многолетним опытом эксплуатации участка закачки. Взаимодействие и переток в подмерзлотный водоносный комплекс закачиваемых в ММП рассолов на участке «Левобережный-2» не сопряжен с негативным экологическим воздействием на окружающую среду или с ухудшением условий ведения горных работ на месторождении. Положительным фактором является то, что к емкостным характеристикам рабочего интервала ММП, определяющим возможности и объемы закачки рассолов, добавляется емкость подмерзлотного водоносного комплекса, что обеспечивает дополнительные объемы закачки рассолов на участке «Левобережный-2», и возможное продление сроков его функционирования.

Процесс опытно-промышленной эксплуатации участка «Левобережный-2» предполагается с 2022 по 2027 гг. Последующие 5 лет на участке планируется закачать не более 11,8 млн м³ дренажных рассолов трубки «Удачная». Среднегодовая минерализация закачиваемых вод в скважины участка «Левобережный-2» в период его эксплуатации, исходя из имеющейся информации, будет находиться в пределах 250–350 г/дм³.

В процессе эксплуатации участка «Левобережный-2» будет выполняться распределение закачиваемых объемов на весь линейный ряд эксплуатационных скважин, это способствует оптимальному и полному использованию емкостных параметров всех имеющихся поглощающих интервалов коллекторов на участке.

Необходимо отметить, что направление миграции рассолов прогнозируется в соответствии с особенностями криогидрогеологического строения участка, с учётом простирания главных тектонических нарушений.

По результатам проведенных гидрогеологических и геофизических исследований, породы, обладающие наилучшими коллекторскими свойствами («рабочие интервалы»), залегают:

- Скважина 8н – на глубинах от 169,0 до 254,0 м;
- Скважина 9н – на глубинах от 148,0 до 232,0 м;
- Скважина 10н – на глубинах от 158,0 до 190,0 м;
- Скважина 11н – на глубинах от 160,0 до 190,0 м;
- Скважина 12н – на глубинах от 150,0 до 240,0 м;
- Скважина 13н – на глубинах от 197,0 до 238,0 м;
- Скважина 14н – на глубинах от 150,0 до 208,0 м;
- Скважина 15н – на глубинах от 152,0 до 208,0 м;
- Скважина 16н – на глубинах от 151,0 до 265,0 м;
- Скважина 17н – на глубинах от 152,0 до 267,0 м;
- Скважина 18н – на глубинах от 150,0 до 264,0 м;
- Скважина 19н – на глубинах от 152,0 до 240,0 м.

Поглощающие интервалы представлены трещиноватыми и кавернозно-трещиноватыми карбонатными породами моркокинской ($C_3 \text{ mrk}$) и мархинской ($C_3 \text{ mr}$) свит. Наиболее проницаемые пласты-коллекторы, по результатам расходомерии, отмечены в интервалах глубин 157,0–190,0 м и 206,0–266,0 м.

Определение параметров проводилось по результатам опытной эксплуатации участка 2018–2022 гг. на стадии снижения и повышения уровня в эксплуатационных скважинах, алгоритм и расчётные формулы приведены ранее (глава 2.2). Результаты выполненных расчетов приведены в таблице 2.18.

Таблица 2.18

Основные гидродинамические коэффициенты участка «Левобережный-2»

№ п/п	№ скважины	№ куста	Коэффициент водопроницаемости K_m , м ² /сут	Приёмистость, м ³ /сут
1	8н	1	2,1	20,1
2	9н			
3	10н	2	18,5	177,2
4	11н			
5	12н	3	79,2	758,0
6	13н			
7	14н	4	6,5	65,5
8	15н			
9	16н	5	5,2	49,8
10	17н			
11	18н	6	2,8	27,2
12	19н			

В результате прогнозного моделирования, выполненного исходя из определённых параметров, для 8 эксплуатационных скважин (30-37з) с суммарным расходом закачки $Q=180 \text{ м}^3/\text{ч}$, эффективная прогнозная ёмкость участка «Левобережный-2» определена в объёме 7 млн м^3 . При этом в связи с низкой приемистостью скважин на гидродинамической модели, получены высокие уровни в техногенном горизонте именно в районе эксплуатационных скважин с минимальным растеканием по площади. В связи с этим, для максимального использования всей ёмкости участка закачки «Левобережный-2» необходимо использование большего числа скважин.

Второй расчёт был выполнен при эксплуатации 12 скважин. В результате проведенного моделирования, за счёт перераспределения объёма закачки, произошло прогнозное увеличение ёмкости до 14,19 млн м^3 . В результате анализа гидрогеологического моделирования рекомендуется дополнительное бурение 4 эксплуатационных скважин, т.к. распределение заявляемого суммарного расхода закачки ($270 \text{ м}^3/\text{ч}$) на 12 закачных скважин, будет оптимальным вариантом эксплуатации участка «Левобережный-2» в течение 6 лет.

Отдельно необходимо отметить, что для полноценного использования всей прогнозной ёмкости участка $\sim 17,3 \text{ млн м}^3$ потребуется 17 закачных скважин.

В настоящее время участок обратной закачки «Левобережный-2» эксплуатируется в опытно-промышленном режиме с суммарной производительностью закачки до $270 \text{ м}^3/\text{час}$, в режиме свободного налива на базе 8 поглощающих скважин №№ 28з, 29з, 30з, 31з, 32з, 33з, 34з и 35з. На настоящее время в скважины участка закачено порядка 50 тыс. м^3 . Данный объём недостаточен для формирования площадного техногенного горизонта. Сформированные разрозненные линзы рассолов приурочены только к пристволовым зонам (из-за небольшого объёма закаченных вод) и характеризуются крайне неравномерными фильтрационными параметрами, что обусловлено особенностями тепло и массопереноса при использовании толщи ММП для закачки дренажных вод.

2.4. Криогидрогеологические условия участков закачки, использующих нижнекембрийский водоносный комплекс

Целесообразность использования для закачки коллекторов регионального нижнекембрийского водоносного комплекса продиктована как текущей гидрогеологической ситуацией на руднике «Удачный» (приток природных рассолов $\sim 9000 \text{ м}^3/\text{сут}$), так и прогнозируемым ростом притоков к системе подземных горных выработок (до $\sim 40\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$ к 2062 г.) в процессе отработки месторождения. Применяемый с 1985 г. метод закачки дренажных вод в зону ММП не смог бы решить в полной мере проблемы утилизации дренажных вод. Поэтому в пределах Далдынского кимберлитового поля потребовалось строительство новых участков, основанных на принципах обратной закачки [Янников, 2021б; Лагунов, 2022ф; Янников, 2022в ф, 2022г ф, 2022д ф]. Для решения этой задачи был поставлен комплекс исследований нижнекембрийского водоносного комплекса (НВК). Схема расположения всех перечисленных участков закачки (на ММП и НВК) приведена на рисунке 2.31.

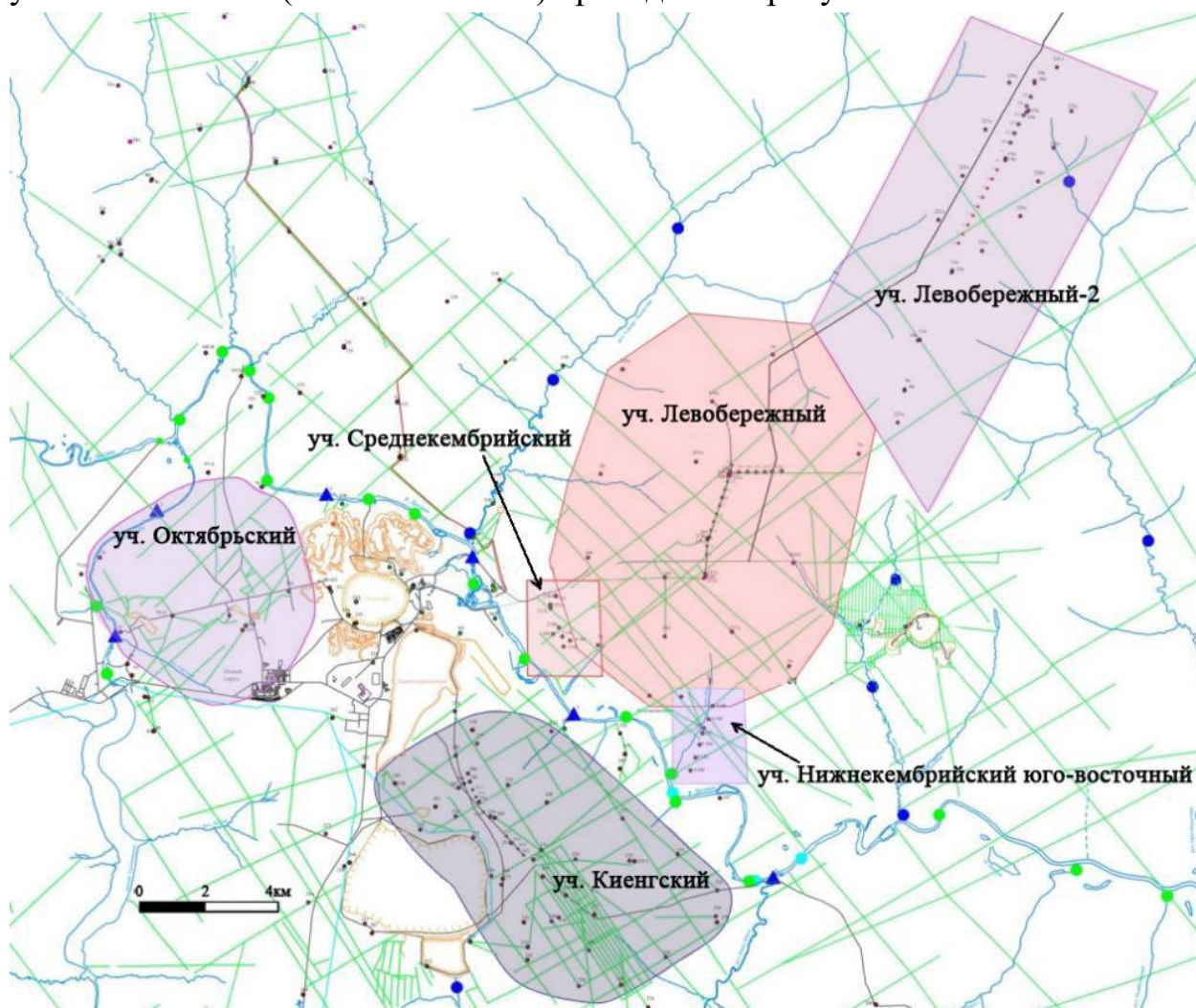


Рис. 2.31 Ситуационный план расположения участков закачки.

На основании анализа результатов поиска структур для закачки дренажных вод рудника «Удачный» и по результатам проведенных опытно-фильтрационных работ, для опытной эксплуатации были выбраны участки «Среднекембрийский» и «Нижнекембрийский юго-восточный». Выбор данных участков обусловлен наиболее благоприятными фильтрационными и структурно-тектоническими характеристиками. Проведенные ранее исследования показали, что выделенная зона вдоль оси Далдынской флексуры в интервале среднекембрийского (далее СВК) и нижнекембрийского (далее НВК) водоносных комплексов имеет повышенную проницаемость в районе трубки «Удачная» на юго-восточном и северо-западном фланге месторождения. Результаты геологоразведочных работ указывают на принципиальную возможность использования коллекторов СВК и НВК в зоне Далдынской флексуры в качестве структуры для обратной закачки дренажных вод. Выделенные перспективные участки «Среднекембрийский» и «Нижнекембрийский юго-восточный» расположены в пределах Далдынской флексуры к юго-востоку от рудника:

- участок «Среднекембрийский» (скважины №№ 2531, 1СК, 2СК) расположен в 5,5 км от месторождения;
- участок «Нижнекембрийский юго-восточный» (скважины №№ 125-126) расположен в 10,5 км (рис. 2.32).

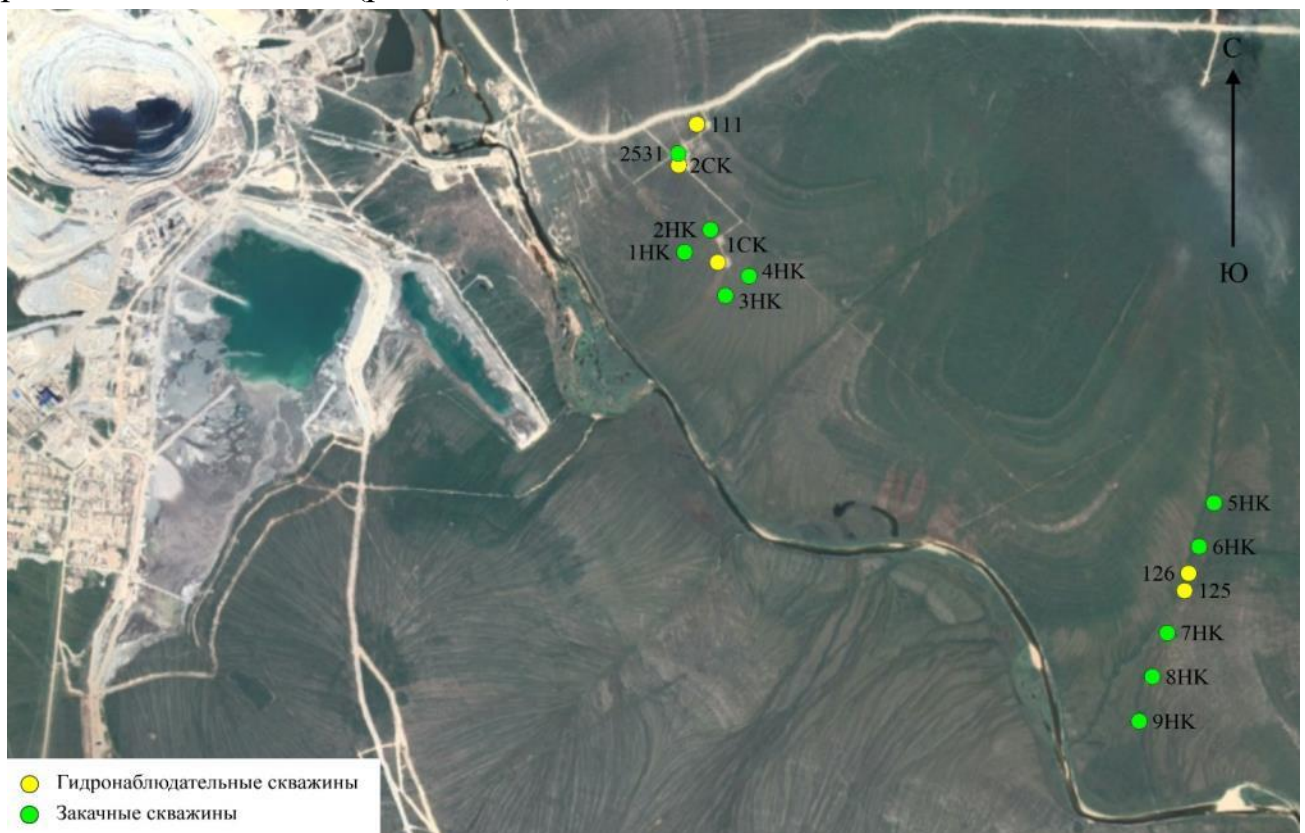


Рис. 2.32 Схема участков закачки «Среднекембрийский» и «Нижнекембрийский юго-восточный».

Участок «Среднекембрийский» состоит из 8 скважин, в том числе: – 5 закачных скважин №№ 2531, 1НК, 2НК, 3НК, 4НК; – 3 наблюдательных скважин №№ 111, 1СК, 2СК. Глубина скважин на участке составляет от 1100 до 2300 м.

Участок «Нижнекембрийский юго-восточный» состоит из 7 скважин, в том числе: – 5 закачных скважин №№ 5НК, 6НК, 7НК, 8НК, 9НК; – 2 наблюдательных скважин № 125 и № 126. Глубина скважин на участке составляет от 900 до 1700 м.

В геолого-стратиграфическом разрезе изучаемой толщи рассматриваемых участков принимают участие кристаллические породы архея, карбонатные и терригенно-карбонатные отложения венда и кембрия. На участках «Среднекембрийский» и «Нижнекембрийский юго-восточный» отложения нижнего кембрия, вскрытые скважинами, хорошо коррелируются с опорным геофизическим разрезом для Далдыно-Алакитского кимберлитового поля. Фактический материал о строении пород в пределах участка получен при документации керн скважин глубиной 1100–2300 м, пробуренных на разных этапах геологического изучения недр. В результате проведенных исследований было установлено, что в строении участка участвуют кристаллические породы архея, карбонатные и терригенно-карбонатные отложения венда и кембрия.

Породы *архея* вскрыты скважиной № 2531 в интервале 2478,0–2480,0 м. Они представлены кристаллическими сланцами и гранито-гнейсами. Вскрытая мощность пород фундамента составила 2 м.

Венд. Старореченская свита (Vst). Разрез свиты вскрыт скважиной № 2531 в интервале 2308,0–2478 м. Породы свиты с угловым и стратиграфическим несогласием залегают на размытой поверхности кристаллического фундамента [Колосов, Авдеева, 1979; Стратиграфия ... , 2005]. Разрез представлен серыми плотными окремненными разномерными доломитами, строматолитовыми доломитами с редкими прослоями (мощностью 0,8–2 м) доломитовых мергелей и глинистых доломитов. В нижней части присутствуют полимиктовые песчаники и песчаные доломиты с глауконитом. Мощность свиты 170 м.

Кембрийская система. Манькайская свита (Є₁ тп). Отложения свиты на полную мощность вскрыты скважиной № 2531 в интервале 1929,0–2308,0 м (табл. 2.10). Представлены они доломитами, строматолитовыми доломитами и известняками с прослоями глинистых доломитов, доломитовых мергелей, реже аргиллитов. Нижняя половина разреза отличается повышенной глинистостью и радиоактивностью пород. В то же время здесь присутствуют прослои гравелитов, песчаников и пропитанных жидкой нефтью битуминозных песчаных доломитов. По всему разрезу отмечаются гнезда и прослойки светло-серого ангидрита.

Стратиграфическая классификация на участках

№ скв.	Абс.отм. устья скв. Глубина скв., м	Стратиграфическая классификация (по стволу скважины/в абс. отметках по подошве свиты, м)						
		Моркокинская Є _{3mrk}	Мархинская Є _{3mr}	Известково- доломитовая Є _{2id}	Удачинская Є _{1-2ud}	Кумахская Є _{1k}	Эмяксинская Є _{1em}	Манькайская Є _{1mp}
участок «Среднекембрийский»								
111	<u>395,6</u> 1100,0	<u>152,0</u> 243,6	<u>620,0</u> -224,4	<u>1020,0</u> -624,4	Забой <u>1100,0</u> -704,4			
2531	<u>382,7</u> 1700,0	<u>158,0</u> 224,7	<u>612,0</u> -229,3	<u>1032,5</u> -649,8	<u>1480,0</u> -1097,3	<u>1635,0</u> -1252,3	<u>1929,0</u> -1546,3	<u>2308,0</u> -1925,3
1СК	<u>342,2</u> 1700,0	<u>98,8</u> 243,4	<u>552,0</u> -209,8	<u>940,5</u> -598,3	<u>1458,0</u> -1115,8	<u>1609,0</u> -1266,8	Забой <u>1700</u> -1357,8	
2СК	<u>378,1</u> 1700,0		<u>588,8</u> -210,7	<u>1011,4</u> -633,3	<u>1508,8</u> -1130,7	<u>1635,9</u> -1257,8	Забой <u>1705</u> -1326,9	
2НК	<u>378,1</u> 1700,0		<u>556,7</u> -178,6	<u>941,0</u> -562,9	<u>1489,5</u> -1111,4	<u>1611,5</u> -1233,4	Забой <u>1700</u> -1321,9	
участок «Нижнекембрийский юго-восточный»								
№ скв.	Глубина скв., м	Стратиграфическая классификация (подошва свиты по стволу скважины, м)						
		Моркокинская Є _{3mrk}	Мархинская Є _{3mr}	Известково- доломитовая Є _{2id}	Удачинская Є _{1-2ud}	Кумахская Є _{1k}	Эмяксинская Є _{1em}	Манькайская Є _{1mp}
5НК	1700	47,8	496,4	880,2	1448,2	1585,8	1700,0 (забой)	
6НК	1700	63,5	511,3	951,2	1430,0	1577,7	1700,0 (забой)	
7НК	1700	68,5	526,4	1016,0	1406,3	1560,0	1700,0 (забой)	
8НК	1700	38,0	485,6	983,3	1405,5	1623,7	1700,0 (забой)	
9НК	1700	36,0	481,5	846,4	1433,4	1620,6	1700,0 (забой)	

Окраска пород в целом серая, в нижней четверти разреза – пестрая. Характерным для свиты является наличие пористых и кавернозных разностей с битумопроявлениями. Свита имеет несогласный контакт с подстилающей старореченской и согласный с перекрывающей эмяксинской свитой. Мощность свиты 379 м. В процессе бурения скв. № 2531 при испытании интервала 1964,6–1996,1 м был получен приток газированной минерализованной воды, максимальной плотностью 1,28 г/см³ с плёнкой нефти. Дебит пластовой воды при динамическом уровне 1024,6 м составил 6,26 м³/сут. Величина пластового давления, рассчитанная экстраполяционным методом для глубины 1971,6 м, составила 18,5 МПа.

Эмяксинская свита (E₁ et). Вскрыта скважинами № 1СК, 2СК, 2НК и на полную мощность скважиной № 2531 в интервале 1635,0–1929,0 м. Кровля свиты на участке отмечается на глубинах в абс. отм. от -1266,8 м до -1233,4 м с перепадом по вертикали на 33,4 м, что, вероятно, связано с тектоникой. Мощность свиты на участке 294 м. Сложена свита известняками с прослоями доломитов, мергелей и аргиллитов. По характеру отложений разрез свиты условно подразделяется на две пачки [Мельников и др., 1989].

Нижняя пачка представлена чередованием пестроцветных известняков и глинистых известняков с прослоями красноцветных мергелей и аргиллитов. Мощность пачки 116 м.

Верхняя пачка сложена однообразными массивными плотными известняками с прослоями водорослевых, органогенно-обломочных и археоциатовых известняков. Известняки серые, серовато-кремоватые, скрытокристаллические в отдельных участках доломитизированные, тонко-мелкозернистые, не редко с сгустково-комковатой текстурой (органогенные) водорослевые. Порода плотная, массивная, вертикально-трещиноватая с многочисленными бугристыми стилолитовыми швами, по стенкам которых отмечается глинисто-органическое вещество. Участками известняк коричневатосерый с примазками чёрного органического вещества с неоднородной текстурой, крепкий с запахом битума (рис. 2.33, 2.34).

Микроописание: в шлифах порода представлена микро-тонкозернистыми диаэпигенетически перекристаллизованными и доломитизированными (от 10 до 75%) известняками. В шлифах отмечаются сгустки и комки округлой формы с нечёткими контурами, сложенные кальцитом. Отмечено окремнение по комкам. Пиритизация слабая рассеянная и агрегатная. Наблюдаются редкие трещины с кальцитовым заполнителем. Мощность пачки 255 м. К породам верхней пачки приурочены коллекторы нижекембрийского водоносного комплекса (НВК).



Рис. 2.33 Известняки водорослевые (интервал 1618,3–1622,3 м).



Рис. 2.34 Известняки водорослевые (интервал 1626,3–1630,3 м).

По результатам интерпретации ГИС в верхней пачке эмьяксинской свиты выделяется до 11 пластов коллекторов мощностью от 0,9 м до 12,0 м. Тип коллектора – пористый. Коэффициент пористости по НГК в пределах 13,8–15,7 % (среднее значение – 14,7 %). Коэффициент пористости по АК в пределах 6,1–7,7 % (среднее значение – 6,7 %). Коэффициент пористости по БК в пределах 2,7–12,9 % (среднее значение – 10,6 %). Эффективная мощность – 43,9 м.

Литолого-физические свойства пород коллекторов в скважине № 2531 изучены в интервале 1662–1684 м в лаборатории физики пласта Среднеленской экспедиции (1988 г.). Породы представлены известняками серыми, серовато-кремовыми, плотными, массивными, с бугристыми стилолитовыми швами и

доломитами темно-серовато-кремовыми, массивными, пористыми (табл. 2.20). Порода характеризуется низкими ёмкостно-фильтрационными свойствами. Значения пористости изменяются до 2,65 %, но в основном по разрезу в связи с микрозернистой структурой породы имеют низкие значения пористости. Коллекторы выделяются отдельными пропластками со средним значением проницаемости до 0,02 мд. Трещиноватых коллекторов нет. Отмечаются отдельные образцы с трещинами. В целом по разрезу выделяется поровый тип коллекторов.

Таблица 2.20

Коллекторские свойства горных пород эмяксинской свиты

№ п/п	Глубина отбора, м	Характеристика породы	Кальцит, %	Доломит, %	Н.О., %	Кп пористости, %		К прониц., мд	Об. вес в сух. виде, г/см ³
						спирт	расс	Абс.	
1	1662	Известняк	74,2	7,8	1,3	0,1	0,5		2,69
2	1666,2	Известняк	78,1	2,2	1,5	0,4	0,7		2,69
3	1668	Известняк доломитистый	45,0	45,7	1,6	0,7	1,0		2,72
4	1672,8	Известняк	67,9	9,7	1,4	0,5	0,8		2,69
5	1674	Доломит	11,6	50,8	4,6	1,6	2,4	0,02	2,66
6	1675	Известняк	86,19	6,09			1,57		2,69
7	1680,0	Доломит известковый	47,79	36,54			2,65		2,67
8	1684	Известняк доломитистый	74,0	23,4	1,2	0,8	1,0		2,63
<i>среднее:</i>					1,93	0,68	1,33	0,02	2,68

Кумакская свита (Є₁ k). Породы толщи без видимого несогласия залегают на подстилающих отложениях эмяксинской свиты. Кровля свиты на участке варьирует в пределах 1458–1508 м. Мощность свиты изменяется от 122 до 155 м.

Представлены породы пористо-кавернозными доломитами светло-серого цвета комковатыми окремненными микрозернистыми доломитами серыми, буровато-серыми, коричневыми, прослоями глинистыми, иногда известковистыми битуминозными (рис. 2.35–2.43). Породы горизонтально-слоистые, участками массивные, **пористо-кавернозные**, неравномерно сульфатизированные. Доломиты светло-серого цвета. Известняки доломитизированные от серого до серо-бежевого цвета. Известняки окремненные темно-серого до черного цвета, очень плотные, местами комковатые.



Рис. 2.35 Интервал 1489,8–1493,8 м. Мелкозернистый пористо-кавернозный доломит.



Рис. 2.36 Интервал 1506,3–1510,3 м. Известняк доломитизированный с кавернами округлой и вытянутой формы размером до 25×24 мм, частично заполненные мелкими кристаллами кальцита.



Рис. 2.37 Интервал 1534,3–1538,3 м. Известняк серого, светло-серого цвета кавернозный.



Рис. 2.38 Интервал 1542,3–1546,3 м. Известняк кавернозный.



Рис. 2.39 Интервал 1554,3–1558,3 м. Известняк серо-бежевого цвета с крупными гнездами голубовато-серого известняка.



Рис. 2.40 Интервал 1562,3–1566,3 м. Известняк серый, кавернозный.



Рис. 2.41 Интервал 1566,3–1570,3 м. Известняк окремнённый с неравномерно распределёнными кавернами размером до 32×15 мм, полыми и частично заполненными кристаллами кальцита.



Рис. 2.42 Известняк окремнённый кавернозный (интервал 1602,3–1606,3 м).



Рис. 2.43 Известняк кремненый кавернозный (интервал 1606,3–1610,3 м).

В породе по всему интервалу присутствуют каверны округлой и вытянутой формы размером от $1,6 \times 3,4$ мм до 7×65 мм, частично заполненные мелкими кристаллами кальцита. Каверны развиты как вдоль поверхности трещин, так и внутри блоков породы, по напластованию. Редкие трещины открытого типа субвертикальной ориентировки с углами наклона до 20° к длинной оси керна. В породе встречаются стилолитовые швы зубчато-бугристой формы, выполненные глинистым материалом, амплитудой до 3 см. В породе встречаются редкие стилолитовые швы бугристой формы, $\sim 0-4$ на 1 п.м, выполненные глинистым материалом, амплитудой до 4,4 см. К пористо-кавернозным породам приурочены коллекторы нижнекембрийского водоносного комплекса (НВК).

По результатам интерпретации ГИС в породах кумахской свиты выделяется до 16 пластов коллекторов мощностью от 0,8 м до 12,2 м. Тип коллектора – пористо-кавернозный. Коэффициент пористости по НГК в пределах 11,7–14,7 % (среднее значение – 14,3 %). Коэффициент пористости по АК в пределах 5,0–10,5 % (среднее значение – 6,6 %). Коэффициент пористости по БК в пределах 9,1–29,6 % (среднее значение – 17,6 %). Эффективная мощность – 55,3 м.

Литолого-физические свойства пород коллекторов изучены в интервале 1600,2–1614,0 м. Породы представлены доломитами серыми, серовато-кремовыми, плотными, массивными, с бугристыми стилолитовыми швами и доломитами темно-серовато-кремовыми, массивными, пористыми. Порода характеризуется высокими ёмкостно-фильтрационными свойствами за счёт кавернозности пород (табл. 2.21).

Таблица 2.21

Результаты определений коллекторских свойств горных пород кумахской свиты

№№ пп	Глубина отбора, м	Характеристика породы	Кальцит, %	Доломит, %	Н.О., %	Кп пористости, %		К прониц., мд			К ост. вод., %	К нефт., %	Об. вес в сух. виде, г/см ³
						спирт	рассол	абс.	эф.	откр.			
1	1600,2	Доломит	4,1	76,3	2,1	1,3	1,5						2,80
2	1600,8	Доломит	0	81,8	1,9	0,3	0,5						2,82
3	1601,9	Доломит	0	98,0	1,5	0,8	0,9						2,82
4	1602,4	Доломит	0	89,7	1,7	0,9	1,2						2,82
5	1603,6	Доломит	0	79,9	5,0	0,9	1,4	0,17					2,80
6	1604,4	Доломит	0	99,0	2,0	0,2	0,6						2,82
7	1605,0	Доломит	2,1	77,9	2,4	1,0	1,4						2,50
8	1605,6	Доломит	0	84,8	0,2	0,6	0,8						2,81
9	1606,0	Доломит	0	89,5	2,2	2,0	2,3	47,6	48,4	1,0	79,6	3,4	2,78
10	1607,0	Доломит	0	91,5	1,8	1,0	1,2						2,81
11	1608,0	Доломит	0	97,9	1,7	1,7	1,9	0,72	0,36	0,5	51,9	2,4	2,80
12	1608,2	Доломит	0	95,6	1,5	2,3	2,4	0,82	0,94		61,5	2,5	2,77
13	1610,4	Доломит	0	91,5	1,7	1,0	1,3	0,01					2,80
14	1611,2	Доломит	0	93,5	1,4	0,2	0,3						2,83
15	1614,0	Доломит	0	79,0	2,3	1,3	1,4	26,6	13,5	0,5	56,6	2,6	2,79
<i>среднее:</i>					<i>1,96</i>	<i>1,03</i>	<i>1,27</i>	<i>12,65</i>	<i>15,8</i>	<i>0,67</i>	<i>62,4</i>	<i>2,73</i>	<i>2,78</i>

Эффективная проницаемость до 48,4 мд. Трещиноватых коллекторов нет. Отмечаются отдельные образцы с трещинами. В целом по разрезу выделяется порово-кавернозный тип коллектора. Объёмный вес (среднее 2,78 г/см³) пород кумахской свиты больше объёмного веса эмяксинской свиты (2,68 г/см³) за счёт окремнения пород. К отложениям эмяксинской и кумахской свит приурочен нижнекембрийский водоносный комплекс (НВК). Кровля комплекса на участке варьирует в пределах 1479,6–1533,8 м. Общая мощность комплекса до 450 м, эффективная мощность – до 110 м. По результатам постановок пластоиспытателя КИИ дебиты притоков в НВК варьируют в пределах 0,3–60,3 м³/час при средней величине 33,8 м³/час.

Водоносный комплекс на участке характеризуется высокими фильтрационными свойствами за счёт кавернозности пород, слагающих коллекторы НВК. Коэффициент водопроницаемости до 48 м²/сут.

Удачинская свита (Є₁₋₂ id). На полную мощность разрез свиты на участках вскрыт всеми скважинами в интервале 941–1508,8 м. Кровля свиты на участке отмечается на глубинах в абс. отм. от -562,2 м до -649,8 м с перепадом по вертикали до 88 м, что связано с влиянием разрывных нарушений. Мощность свиты на участке от 447 м до 542 м. Границы свиты неровные, биогермного характера. Свита служит нижним водоупором для среднекембрийского водоносного комплекса [Климовский и др., 2002]. *Обводненными являются лишь маломощные разрозненные прослои пористо-кавернозных доломитов ниже глубины -1050 м в абс. отм., относящиеся к нижнекембрийскому водоносному комплексу (НВК).* Сложена удачинская свита рифогенными эпифитоновыми известняками, обломочными известняками и доломитами фации "битая ракушь" [Асташкин, 1982], реже – пористо-кавернозными доломитами, разнозернистыми известняковыми песчаниками, гравелитами, конгломератами. Эпифитоновые известняки в виде прослоев мощностью от 0,2 до 5–19 м относительно равномерно распределены по всему разрезу и составляют около 35% его объема. Основным их порообразующим компонентом являются колонии эпифитоновых водорослей, слагающих биогермы караваеобразной, линзовидной и клиновидной формы. Интервалы между эпифитоновыми известняками сложены разнозернистыми массивными известняковыми песчаниками с рассеянным глауконитом, гравелитами и конгломератами.

Известняково-доломитовая толща (Є₂ id). Толща со стратиграфическим несогласием залегает на удачинской свите и несогласно перекрывается мархинской свитой. Сложена она доломитами с прослоями обломочно-оолитовых доломитов, карбонатных песчаников, гравелито-песчаников, конгломератов, реже водорослевых и битуминозных известняков, мергелей. Основную часть разреза слагают доломиты пористо-кавернозные, ноздреватые, пятнистые грубослоистые со струйчатым расположением пор и каверн, заполненных кальцитом, гипсом и жидким битумом. Обломочные доломитовые и известняковые породы песчаной, гравелитовой и конгломератовой размерности развиты преимущественно в верхней и средней частях разреза. Среди них преобладают гравелито-песчаники, сложенные плоскими обломками (3–5 мм), ориентированными вдоль слоистости микрозернистого доломита или водорослево-стусткового известняка. В нижней части разреза присутствуют прослои и линзы (мощностью от 0,2 до 3 м) оолитовых и онколито-обломочных доломитов. Во всех вскрытых разрезах известняки подчинены доломитам. Породы повсеместно сульфатизированы. Гипс выполняет пустоты, а также

образует стяжения неправильной формы, розетки и рассеянные пластинки. Мощность толщи ~ 385 м. К отложениям толщи приурочен среднекембрийский водоносный комплекс (СВК). В таблице 2.22 приведена характеристика коллекторов СВК, выделенных по результатам интерпретации комплекса ГИС.

Таблица 2.22

Характеристика коллекторов среднекембрийского водоносного комплекса

№ скважин	Интервал водоносного комплекса, <u>от-до, м</u> в абс. отметках	Общая мощность комплекса, м	Эффективная мощность комплекса, м	К пористости общ (по ГИС), % <u>min-max</u> среднее	Примечание
Среднекембрийский водоносный комплекс СВК					
2531	<u>617,6 - 1519,6</u> (-234,9) - (-1136,9)	619,2	70,6	<u>8,0 - 10,0</u> 9,0	СВК¹ : 617,6-996,6м; СВК² :1279,4-1519,6м
1СК	<u>552,3 - 1395,3</u> (-201,6) - (-1053,1)	709,8	70,6	<u>16,0 - 22,0</u> 19,6	СВК¹ :552,3-1039,3м; СВК² :1172,5-1395,3м
2СК	<u>786,4 - 1337,1</u> (-435,7) - (-986,4)	376,4	13,1	<u>9,6 - 14,7</u> 11,6	СВК¹ :786,4-1093,0м; СВК² :1267,3-1337,1м
2НК	<u>565,2 - 1490,9</u> (-168,8) - (-1112,8)	889,9	162,3	<u>12,8 - 18,5</u> 16,2	СВК¹ :565,2-1251,2м; СВК² :1287,4-1490,9м

Как видно из таблицы мощность СВК (общая и эффективная) изменяется в широких пределах, что говорит о невыдержанности интервалов коллекторов.

Притоки из верхнего горизонта СВК, полученные при постановках КИИ, изменяются от 0,25 до 15,01 м³/час при средней величине 6,12 м³/час (табл. 2.23).

Таблица 2.23

Среднестатистические притоки по результатам постановки пластоиспытателя

Участок	СВК ¹			СВК ²			НВК		
	Притоки по КИИ, м ³ /час			Притоки по КИИ, м ³ /час			Притоки по КИИ, м ³ /час		
	min	max	среднее	min	max	среднее	min	max	среднее
Северо-западный участок	0,72	10,80	5,08	1,33	4,50	2,26	0,04	4,06	1,95
Среднекембрийский участок	0,25	15,01	6,12				0,31	60,33	33,83
Юго-восточный участок	0,49	14,15	4,02	1,00	1,58	1,29	14,29	26,71	22,24

Мархинская свита (Є₃ tr). Залегает со стратиграфическим несогласием на отложениях известняково-доломитовой толщи [Михайлов, Тесаков, 1972].

Свита сложена известняками, доломитами, мергелями и аргиллитами. Нередко встречаются прослои и линзы известняковых песчаников, гравелитов и конгломератов, водорослевых известняков. Мощность мархинской свиты на участке до 468 м.

К верхней части разреза приурочен слабоводообильный верхнекембрийский водоносный комплекс (ВВК) мощностью до 200 м.

Моркокинская свита ($\text{Є}_3 \text{mk}$). Отложения свиты на участке представлены в основном серыми, желтовато-серыми, коричневатыми известняками и доломитами, реже известковыми песчаниками и алевролитами. Присутствуют также линзовидные прослои красноцветных пород (глинистые известняки и доломиты, мергели, аргиллиты). Мощность свиты до 158 м

По результатам проведенных гидрогеологических и геофизических исследований, породы, обладающие наилучшими коллекторскими свойствами («рабочие интервалы»), залегают в интервале глубин от 1479 до 1982 м, причём наиболее проницаемые коллекторы приурочены к интервалу 1496–1694 м. Поглощающие интервалы представлены кавернозными и трещиноватыми известняками и доломитами кумахской ($\text{Є}_1 \text{k}$) и змяксинской ($\text{Є}_1 \text{em}$) свит нижнего кембрия.

Участок «Среднекембрийский» расположен на левом берегу реки Далдын между ручьями Улахан-Бысытаах и Полярный, в 5 км восточнее от трубки «Удачная». Освоение участка «Среднекембрийский» началось с опытных закачек в небольших объемах в 2016 г. Опытные работы на участке начались в 2022 г. Дренажные рассолы транспортировались от главной насосной станции по водоводам к эксплуатационным (поглощающим) скважинам. На участке «Среднекембрийский» было сооружено 5 закачных скважин глубиной 1700 м, расположенных на расстоянии от 300 до 500 м друг от друга и несколько наблюдательных скважин, оборудованных на СВК и НВК (от 1100 до 1700 м). Схема участка приведена на рисунке 2.44.

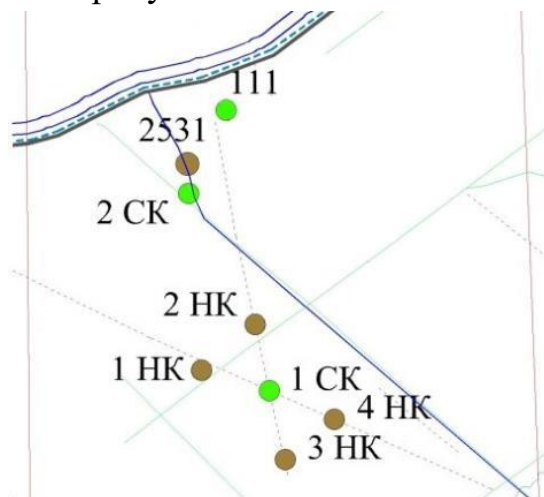


Рис. 2.44 Схема расположения скважин на участке «Среднекембрийский».

Участок «Нишкекембрийский юго-восточный» расположен на левом берегу р. Далдын, в долине ручья Полярный (на его правом берегу) в 10,5 км юго-западнее от трубки «Удачная». Освоение участка «Нишкекембрийский юго-восточный» началось с опытных откачек выполненных в 2020–2021 гг. Опытная эксплуатация участка началась в 2022 г. и вышла на полный объем закачки дренажных минерализованных вод. От главной насосной станции дренажные рассолы транспортировались по водоводам к эксплуатационным (поглощающим) скважинам. Система обратной закачки на участке «Нишкекембрийский юго-восточный» представляет собой линейный ряд (3000 x 1000 м) вкрест простирания Далдынской флексуры, состоящий из 5 закачных скважин №№ 5НК, 6НК, 7НК, 8НК, 9НК (глубиной 1700 м), и наблюдательных скважин №125 (1600 м) и №126 (900 м). Закачные скважины располагаются на расстоянии 400 м друг от друга. Схема участка приведена на рисунке 2.45.

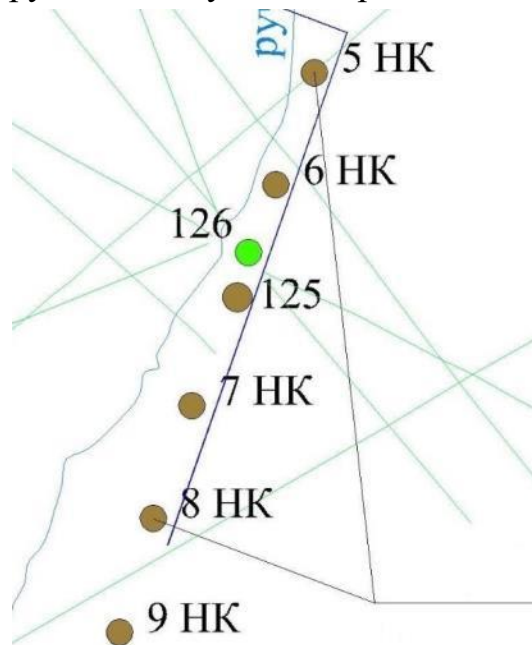


Рис. 2.45 Схема расположения скважин на участке «Нишкекембрийский юго-восточный».

Опробование коллекторов нижекембрийского водоносного комплекса проводилось при помощи опытных наливов, проводимых по классической кустовой схеме: центральная скважина – возмущающая, периферийные – наблюдательные. Все скважины, расположенные на участке, были опробованы долговременными наливками продолжительностью от 10 до 30 суток.

Во время опытно-промышленной эксплуатации участка предполагается одновременное использование 10 закачных скважин, каждая из которых в случае кольматации проницаемых коллекторов и уменьшения поглощающей способности может отключаться от системы обратной закачки для восстановления фильтрационных параметров коллекторов в прискважинной

зоне. Для этого подводящие водоводы к эксплуатационным скважинам были оборудованы регулирующими задвижками.

В течение всего периода опытно-промышленных работ на участках «Среднекембрийский» и «Нижнекембрийский юго-восточный» строго соблюдалось основное требование при закачке дренажных рассолов в коллектора НВК – поддержание уровней в формирующемся репрессивном куполе на определенных в пределах участка экологически безопасных отметках, исключающих разгрузку закачиваемых вод и их самоизлив из наблюдательных скважин. Закачиваемые на участке в коллекторы НВК рассолы создают дополнительный напор в нижнекембрийском водоносном комплексе, который в свою очередь, вызывает подъем пьезометрических уровней в наблюдательных скважинах НВК, попадающих в зону влияния закачки. Такое взаимодействие закачиваемых рассолов с рассолами НВК вполне закономерно и не вызывает опасений. Процесс опытно-промышленной эксплуатации участка «Среднекембрийский» планируется с 2022 по 2032 гг., а участка «Нижнекембрийский юго-восточный» планируется с 2022 по 2027 гг. За это время на участке «Среднекембрийский» планируется закачать ~ 26,3 млн м³, а на участке «Нижнекембрийский юго-восточный» планируется закачать ~ 13,2 млн м³ дренажных рассолов трубки «Удачная». Среднегодовая минерализация закачиваемых вод в скважины участка «Среднекембрийский» в период его эксплуатации будет находиться в пределах 250–350 г/дм³.

Определение параметров проводилось по результатам опытной эксплуатации участка 2016–2022 гг. на стадии снижения и повышения уровня в эксплуатационных скважинах. Результаты выполненных расчетов приведены в таблице 2.24.

Таблица 2.24

Основные гидродинамические коэффициенты участков
«Нижнекембрийский юго-восточный» и «Среднекембрийский»

№ п/п	№ скважины	Коэффициент водопроницаемости K_m , м ² /сут	Коэффициент пьезопроводности a , м ² /сут
1	1 НК	20	10 ⁵ -10 ⁶
2	2 НК	40	
3	3 НК	35	
4	4 НК	45	
5	2531	50	
6	5 НК	15	10 ⁵ -10 ⁶
7	6 НК	55	
8	7 НК	10	
9	8 НК	60	
10	9 НК	40	

Для прогнозных расчетов водопонижения и сопутствующей закачки дренажных рассолов рудника «Удачный» была использована разработанная в процессе калибровки гидродинамическая модель. Расчетный период моделирования (2022–2032 гг.) охватывает отработку месторождения подземным способом до отметки -615 м абс. в пределах среднекембрийского водоносного комплекса с закачкой дренажных рассолов в нижнекембрийский водоносный комплекс.

Моделирование выполнялось в 2 этапа при следующих условиях:

1 этап – определение максимальных расходов закачки по участкам и суммарно. Закачка дренажных рассолов рудника «Удачный» задавалась на модели ГУ 1 рода с поддержанием уровня на устьях скважин для определения максимальных расходов в 3-х возможных вариантах закачки:

- 1) при свободном наливе во все скважины обоих участков;
- 2) при свободном наливе в скважины участка «Среднекембрийский»;
- 3) при свободном наливе в скважины участка «Нижнекембрийский юго-Восточный».

2 этап – определение избыточных давлений, необходимых для закачки 300 м³/ч. Закачка дренажных рассолов рудника «Удачный» задавалась на модели ГУ 2 рода:

- 1) на участке «Среднекембрийский»;
- 2) на участке «Нижнекембрийский юго-восточный».
- 3) определение избыточных давлений, необходимых для закачки 600 м³/ч. на участках «Среднекембрийский» и «Нижнекембрийский юго-восточный».

По результатам моделирования 1 этапа определены максимальные расходы закачки как в оба участка, так и при условии отдельной эксплуатации участков «Среднекембрийский» и «Нижнекембрийский юго-восточный». Максимальные прогнозные объемы закачки приведены в таблице 2.25.

Таблица 2.25

Максимальные прогнозные расходы закачки по скважинам при поддержании уровня на устье скважины

Вариант	Расходы закачки по скважинам, м ³ /ч										Суммарный расход закачки, м ³ /ч
	2531	1НК	2НК	3НК	4НК	5НК	6НК	7НК	8НК	9НК	
1	71,0	19,3	46,3	29,5	47,6	10,8	50,0	9,4	42,0	20,0	345,9
2	74,3	21,0	49,6	33,1	52,4						230,5
3						12,0	55,0	10,0	48,0	22,0	147,0

Моделирование в рамках 2-го этапа выполнялось для определения избыточного давления на устье скважин при условии отдельной эксплуатации

участков «Среднекембрийский» и «Нижнекембрийский юго-восточный», выполнено моделирование гидрогеологических условий с заданием граничного условия с суммарным расходом 300 м³/ч (на каждом участке) и распределением его в скважины пропорционально возможным максимальным расходам закачки при свободном наливе (табл. 2.26).

Таблица 2.26

Заданные расходы закачки и полученные напоры

«Среднекембрийский» участок						
№ скважины	2531	1НК	2НК	3НК	4НК	Среднее
Q, м ³ /ч	100	27	65	41	67	
ΔS, м	91,0	62,5	72,7	53,5	62,2	68,4
ΔP, МПа	0,73	0,50	0,58	0,43	0,50	0,73
Участок «Нижнекембрийский юго-Восточный»						
№ скважины	5НК	6НК	7НК	8НК	9НК	
Q, м ³ /ч	24	112	21	98	45	
ΔS, м	115,8	141,9	151,5	108,5	100,5	124
ΔP, МПа	0,93	1,14	1,21	0,87	0,80	0,93

Исходя из проведенных расчётов, избыточное давление на устье скважины составит 68,4 м для участка «Среднекембрийский» и 124 м – для «Нижнекембрийский юго-восточный».

Полученные в результате проведения опытной эксплуатации основные расчётные фильтрационные параметры подтвердили, что существующий ряд закачных скважин в пределах обоих участков способен обеспечить заявленную потребность в закачке (до 600 м³/час) дренажных вод рудника «Удачный» и будет способен обеспечить её в будущем, так как в данной ситуации используются коллекторы регионального подмерзлотного нижнекембрийского водоносного комплекса.

Необходимо отметить, что при условии эксплуатации скважин с избыточными давлениями на устье (до 3 МПа), для обеспечения закачки максимального среднемесячного притока на руднике «Удачный», составляющего до 800 м³/час, достаточно 7-8 эксплуатационных скважин, но для полноценного использования участков в закачку будут вовлечены все эксплуатационные скважины.

3. ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРЬЕРНОГО ПОЛЯ ТРУБКИ «УДАЧНАЯ»

Коренное месторождение алмазов – трубка «Удачная» является одним из крупнейших в Западной Якутии известных в настоящее время кимберлитовых тел [Классификация ... , 1997; Ваганов, 2000]. С точки зрения геолого-гидрогеологического строения непосредственно месторождение и близлежащий массив вмещающих пород в радиусе до 1200 м от месторождения по своей сути являются микроструктурой сложного строения, из-за локальной невыдержанности коллекторов, наличия «гидравлических окон» по зонам эндо- и экзоконтактов, влияния микро-блочных структур и малоамплитудной тектоники, а также зон вторичной минерализации и массопереноса на гидротермальном этапе развития участка.

Месторождение обрабатывалось открытым способом [Акишев, Бахтин, Бондаренко, 2004; Колганов, Акишев, Дроздов, 2013] с 1971 по 2015 гг. (рис. 3.1) до глубины 640 м (абсолютная отметка -290 м) при полном вскрытии верхнекембрийского водоносного комплекса и частичном вскрытии среднекембрийского водоносного комплекса. Производительность карьера составляла от 4 до 12,5 млн тонн в год. Размеры карьера: по поверхности 2000×1800 м; по дну 630×260 м [Петров и др., 2002; Акишев и др., 2004, 2011].



Рис. 3.1 Карьер трубки «Удачная».

После завершения работ открытым способом, было принято решение о продолжении отработки месторождения подземным способом [Павлов и др., 1994; Колганов, Акишев, 2011; Управление запасами ... , 2012; Колганов, Акишев, Дроздов, 2013]. В соответствии с принятыми техническими решениями, подземная часть месторождения будет отработана в две очереди [Петров и др., 2002]:

– I очередь – вскрытие запасов в границах между дном карьера и до горизонта – 630 м, отработка запасов разделяется на этажи:

- –320 м/–380 м;
- –380 м/–480 м;
- –480 м/–630 м.

– II очередь – вскрытие и отработка запасов в границе между горизонтами –630 м и –1280 м [Акишев и др., 2008, 2012].

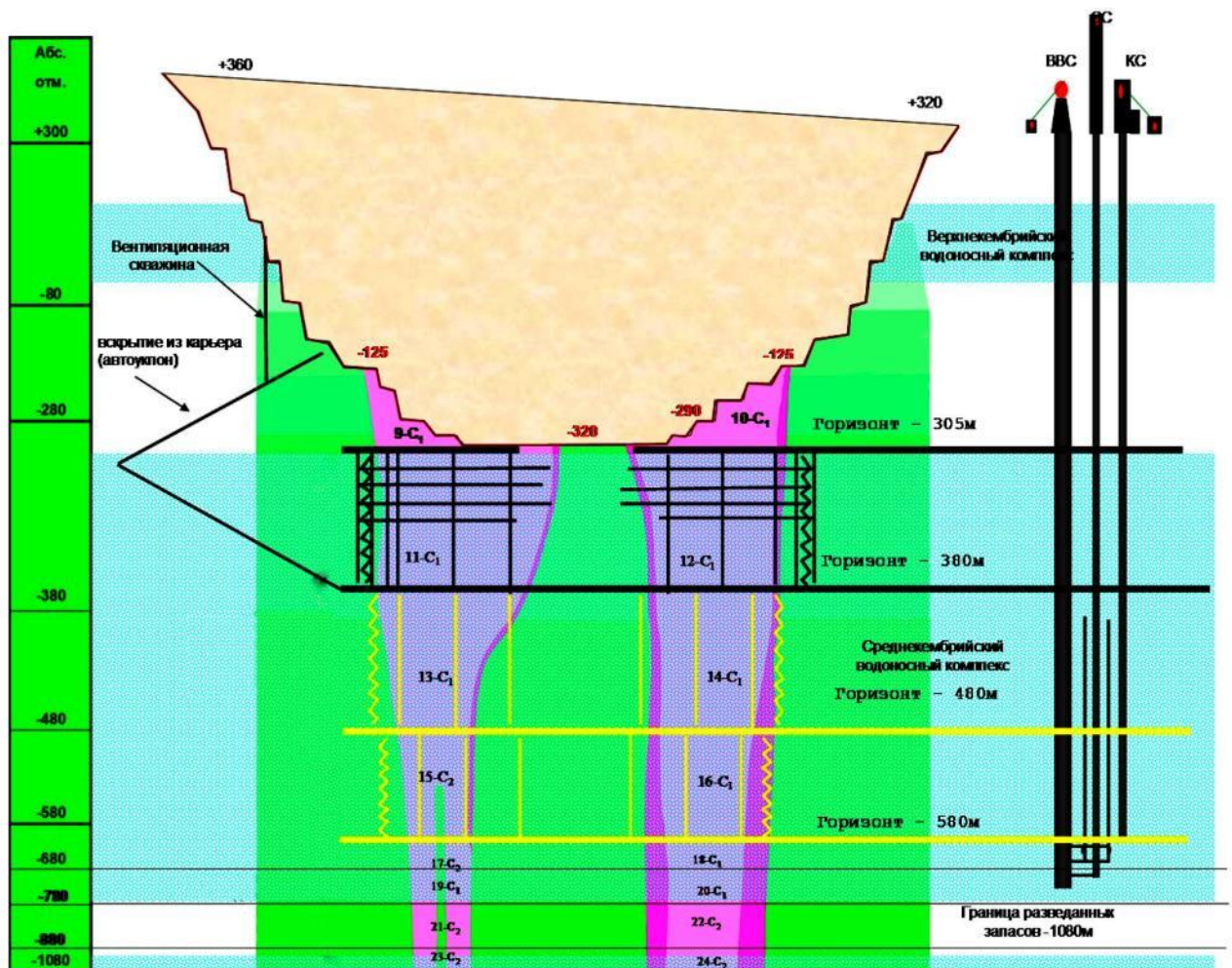


Рис. 3.2 Схема отработки месторождения трубки «Удачная».

Общая попутная характеристика вмещающих пород и отложений представлена до глубины 1650 м от дневной поверхности по результатам разведочного бурения, а также уточнённая и детализованная, с учётом

информации, полученной по скважинам, пробуренным в 2012–2022 гг. из системы подземных горных выработок.

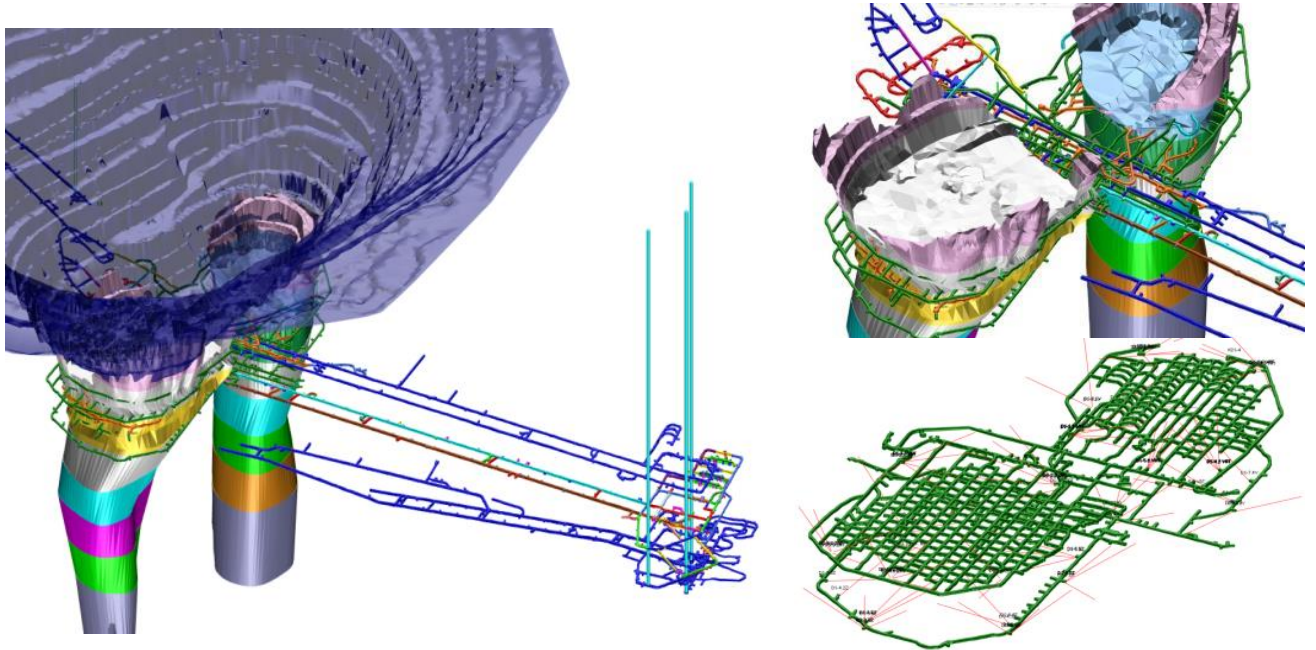


Рис. 3.3 Схема подземного вскрытия трубки «Удачная».

3.1 Стратиграфия

В настоящее время стратиграфическая схема геологических образований в районе шахтного поля принята в следующем виде (рис. 3.4):

Архей (AR).

Породы архея вскрыты скважиной № 703 в интервале 2421,0–2593,0 м. Они представлены кристаллическими сланцами и гранито-гнейсами. Вскрытая мощность пород фундамента составила 172 м.

Венд.

Старореченская свита (Vst). Разрез свиты вскрыт на полную мощность. Породы свиты с угловым и стратиграфическим несогласием залегают на размытой поверхности кристаллического фундамента. Разрез представлен серыми плотными окремненными разнозернистыми доломитами, строматолитовыми доломитами с редкими прослоями доломитовых мергелей и глинистых доломитов. Вскрытая мощность свиты 410 м.

Венд-кембрийская система

Нижний отдел, нерасчлененные.

Манькайская свита (V – Є₁ mn). Отложения свиты вскрыты в интервале 1995,0–2068 м. Представлены доломитами, строматолитовыми доломитами и известняками с прослоями глинистых доломитов, доломитовых мергелей, реже аргиллитов. Свита имеет несогласный контакт с подстилающей старореченской и согласный с перекрывающей эмьксинской свитой. Вскрытая мощность 73 м.

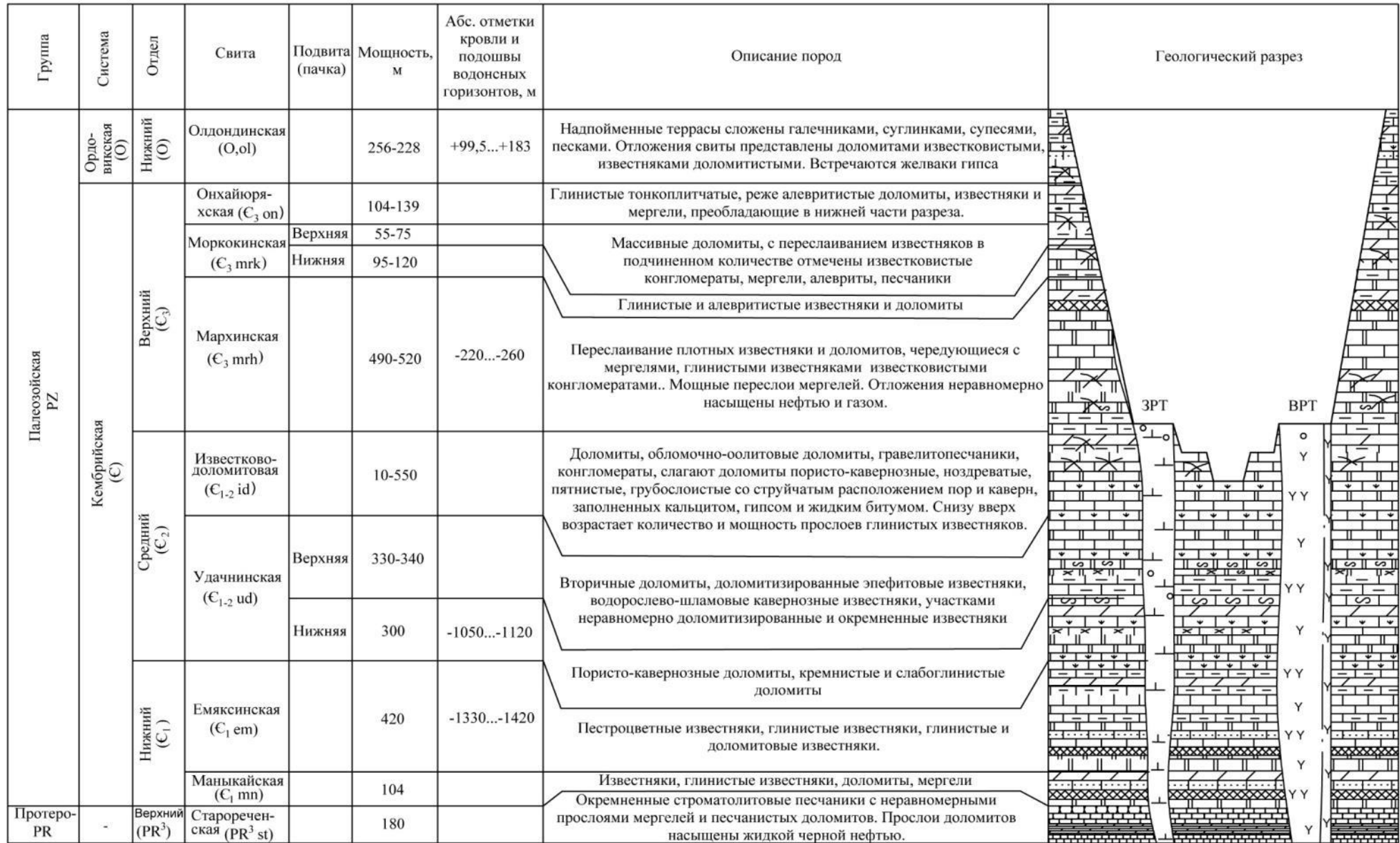


Рис. 3.4 Сводный геологический разрез по трубе «Удачная».

*Кембрийская система.**Нижний отдел.*

Эмяксинская свита ($\text{Є}_1 \text{em}$). Вскрыта в интервале 1574,0–1995,0 м. Сложена известняками с прослоями доломитов, мергелей и аргиллитов. По характеру отложений разрез свиты условно подразделяется на две пачки.

Нижняя пачка (интервал 1890–1995 м) представлена чередованием пестроцветных известняков (в основании пачки кавернозных) и глинистых известняков с прослоями красноцветных мергелей и аргиллитов. Мощность пачки 105 м.

Верхняя пачка (интервал 1574–1890 м) сложена однообразными массивными плотными известняками с прослоями водорослевых, органогенно-обломочных и археоциатовых известняков.

В целом, породы свиты слабо нефтенасыщенные, полная ее мощность составляет 421 м.

Кумахская свита ($\text{Є}_1 \text{k}$). Разрез толщи вскрыт в интервале 1479–1574 м. Породы толщи без видимого несогласия залегают на подстилающих отложениях эмяксинской свиты. Представлены комковатыми окремненными микрозернистыми доломитами серыми, буровато-серыми, коричневыми, прослоями глинистыми, иногда известковистыми битуминозными. Мощность толщи 95 м.

Нижний-средний отделы.

Тойонский – майский ярусы нерасчлененные.

Удачинская свита ($\text{Є}_{1-2} \text{ud}$). Разрез свиты вскрыт рядом гидрогеологических скважин в интервале 1008–1479 м. Мощность свиты – 471 м. Границы свиты неровные, биогермного характера. Свита служит нижним водупором для среднекембрийского водоносного комплекса (СВК). Обводненными являются лишь маломощные разрозненные прослои пористо-кавернозных доломитов и зоны брекчирования. Сложена удачинская свита рифогенными эпифитоновыми известняками, обломочными известняками и доломитами фации «битая ракушь», реже – пористо-кавернозными доломитами, разнозернистыми известняковыми песчаниками, гравелитами, конгломератами. Разрез свиты настолько фациально изменчив (характерно для рифогенных образований), что корреляция отдельных пластов даже в близрасположенных скважинах невозможна. Нефтенасыщенность пород неравномерная, слабая.

*Средний отдел.**Майский ярус.*

Известняково-доломитовая толща ($\text{Є}_2 \text{id}$) вскрывается в интервале 772–1008 м. Толща со стратиграфическим несогласием залегают на удачинской свите и несогласно перекрывается мархинской свитой. Сложена она доломитами

с прослоями обломочно-оолитовых доломитов, карбонатных песчаников, гравелито-песчаников, конгломератов, реже водорослевых и битуминозных известняков, мергелей. Мощность толщи 236 м. К отложениям толщи приурочен водообильный среднекембрийский водоносный горизонт (СВК).

Верхний отдел.

Аюсокканский – сакский ярусы нерасчлененные.

Мархинская свита ($\text{Є}_3 \text{mr}$). Разрез свиты изучен по целому ряду гидрогеологических скважин. Залегают со стратиграфическим несогласием на отложениях известняково-доломитовой толщи. Свита сложена известняками, доломитами, мергелями и аргиллитами. По характеру ритмичности, мощности переслаивающихся разновидностей пород, характеру кривых каротажных диаграмм, насыщенности битумом в составе свиты с определенной долей условности выделяется четыре пачки.

Первая пачка ($\text{Є}_3 \text{mr}_1$) сложена преимущественно доломитами, известковистыми доломитами с маломощными прослоями известняков, глинистых известняков, мергелей и аргиллитов. Мощность пачки колеблется от 80 до 95 м.

Вторая пачка ($\text{Є}_3 \text{mr}_2$) отличается от первой более высоким содержанием известняков и мергелей, хотя преобладающим типом пород являются зеленовато-серые доломиты. Доломиты и известняки часто глинистые и битуминозные. Граница с вышележащей пачкой проводится в подошве плотных коричневато-бежевых пятнисто-полосчатых доломитов с прослоями мелкокристаллических и оолитовых известняков. Эти породы и отличаются повышенной кавернозностью, пористостью, битумонасыщенностью. Они аналогичны маркирующему горизонту в основании моркокинской свиты. Мощность пачки колеблется от 75 до 115 м.

Третья пачка ($\text{Є}_3 \text{mr}_3$) характеризуется ритмичным переслаиванием коричневато-серых доломитов и известняков, прослоями битуминозных, и зеленовато-серых мергелей с линзовидными прослоями глинистых известняков, доломитов, плоскогалечных конгломератов. В отличие от нижележащих отложений, значительно увеличивается количество и мощность (4–6 м) прослоев коричневых кавернозных нефтенасыщенных доломитов и известняков, часто оолитовых. Мощность пачки колеблется от 145 до 175 м.

К отложениям второй и третьей пачек приурочен верхнекембрийский водоносный горизонт (ВВК) мощностью до 200 м.

Четвертая пачка ($\text{Є}_3 \text{mr}_4$) сложена плотными известняками и доломитами, ритмически чередующимися с мергелями, аргиллитами, глинистыми известняками и доломитами. Присутствуют редкие прослои строматолитовых и обломочных доломитов и известняков, плоскогалечных конгломератов. В

отличие от подстилающих образований, здесь наблюдаются более мощные прослой мергелей и аргиллитов. Мощность пачки колеблется от 115 до 140 м.

Общая мощность мархинской свиты на участке проектируемых работ до 442 м.

Акса́йский ярус.

Моркокинская свита ($\text{Є}_3 \text{mrk}$). Отложения моркокинской свиты имеют повсеместное распространение, на дневную поверхность выходят на склонах и в днищах речных долин. Обнаженность свиты плохая, естественные обнажения отсутствуют. Разрез ее изучен по керну многочисленных скважин, а также в карьере «Удачный». Представлен он в основном серыми, желтовато-серыми, коричневатыми известняками и доломитами, реже известковыми песчаниками и алевролитами. Довольно часты линзовидные прослой известняковых конгломератов и гравелитов, оолитовых и строматолитовых известняков. Для свиты в целом характерны признаки мелководья: знаки волновой ряби, следы течения и оползания осадка, глиптоморфозы по каменной соли, трещины усыхания, гнезда, желваки и прожилки гипса, редко – стяжения кремней. По литологическим особенностям свита подразделяется на две подсвиты.

Нижняя подсвита ($\text{Є}_3 \text{mrk}_1$) сложена преимущественно глинистыми и алевролитистыми известняками, доломитами, в меньшей мере мергелями и алевролитами. Более терригенный состав (песчаники, алевролиты) и появление редких прослоев белых афанитовых доломитов, не встречавшихся в разрезе мархинской свиты, являются отличительными особенностями нижнеморкокинской подсвиты. Мощность подсвиты колеблется от 95 до 120 м.

Верхняя подсвита ($\text{Є}_3 \text{mrk}_2$) существенно отличается от нижней по появлению и преобладанию в разрезе массивных доломитов, сокращению количества прослоев известняков и увеличению песчаников. Подсвита сложена массивными глинисто-алевролитистыми доломитами и известняками с прослоями и линзами оолитовых, псевдооолитовых и строматолитовых их разновидностей. Мощность подсвиты колеблется от 55 до 75 м.

Общая мощность свиты на участке проектируемых работ 330 м.

Батырбайский ярус.

Онхойюряхская свита ($\text{Є}_3 \text{on}$). Свита сложена тонкоплитчатыми глинистыми, реже алевролитистыми, доломитами, известняками и мергелями, преобладающими в нижней части разреза. Сравнительно редки водорослевые и псевдооолитовые известняки, единичны линзовидные прослой песчаников, известняковых конгломератов и алевролитов. Отличительными особенностями свиты являются повсеместная пестроцветная окраска и присутствие значительного количества глинистых пород. В составе свиты выделяются две пачки.

Нижняя пачка ($\text{Є}_3 \text{on}_1$) отличается широким распространением красновато-бурых и зеленовато-серых доломитовых мергелей, доломитистых известняков и глинистых доломитов. Мощность отдельных прослоев колеблется от 0,2 до 0,7 м. Встречаются отдельные прослои плоскогалечных конгломератов (0,05–0,15 м), повторяющиеся через каждые 4–5 м разреза, а также псевдоолитовых известняков и строматолитовых доломитов. Мощность пачки колеблется от 57 до 85 м.

Верхняя пачка ($\text{Є}_3 \text{on}_2$) в отличие от нижней содержит значительно меньшее количество пестроокрашенных мергелей и характеризуется появлением прослоев терригенных пород – кварцевых алевролитов, песчаников с карбонатным цементом, мергелей с редко рассеянным гравием карбонатных пород. Она сложена в основном плотными часто огипсованными желтовато- и зеленовато-серыми доломитами, нередко алевролитистыми. Мощность верхней пачки колеблется от 47 до 70 м.

Мощность свиты – от 104 до 139 м, увеличивается в юго-западном направлении. Свита согласно залегает на моркокинской и согласно перекрывается олдондинской свитой.

Ордовикская система.

Нижний отдел.

Тремадокский ярус.

Олдондинская свита ($\text{O}_1 \text{ol}$). Отложения олдондинской свиты залегают согласно на подстилающих породах онхойюряхской свиты. Распространена в основном в западной и юго-западной частях района. Обнаженность свиты плохая, разрез ее изучен по керну гидрогеологических скважин. Представлена доломитами (в той или иной степени известковистыми) и известняками, преимущественно доломитистыми. Породы нередко глинистые, алевролитистые и песчаные, оолитовые, псевдоолитовые и водорослевые. Мощность свиты 256–268 м. По литологическим особенностям она подразделяется на 5 пачек. В районе трубки «Удачная» встречаются только отложения первой пачки олдондинской свиты. Поэтому приводится описание только этой пачки.

Первая пачка ($\text{O}_1 \text{ol}_1$) легко опознается на местности, имеет четкие дешифровочные признаки и является своего рода фотомаркером. Сложена оолитовыми и псевдоолитовыми толстоплитчатыми до массивных алевролитистыми и известковистыми доломитами, разделенными маломощными прослоями глинистых известняков и доломитов, плоскогалечных конгломератов, строматолитовых известняков и доломитов. Отмечаются единичные прослои известковых песчаников и мергелей с прожилками гипса. Мощность пачки колеблется от 40 до 60 м.

Четвертичная система

Четвертичные отложения распространены повсеместно, образуя маломощный покров рыхлых образований, мощностью первые метры. Техногенные отложения представлены отвалами высотой до 20–30 м.

3.2 Тектоника

Структурно-тектоническое строение шахтного поля трубки «Удачная» 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, выполненными на стадии открытой отработки месторождения (рис. 3.5) [Устинов и др., 1984ф].



Рис. 3.5 Тектонические нарушения в пределах шахтного поля трубки «Удачная» (по материалам Удачинского ГОКа, ИЗК СО РАН, Мирнинской ГРЭ, Виллойской ГРЭ, МСШСТ).

В структурно-тектоническом строении района трубки «Удачная» выделены три основные системы глубинных разломов субмеридионального, северо-восточного и северо-западного простирания. Трубка «Удачная» относится к месторождениям с несогласным залеганием с вмещающими породами. Месторождение приурочено к пересечению региональных разломов северо-восточного и северо-западного простирания [Данилов, 2012]. Трубка

окружена системой разрывов, образующих кольцевую структуру. В системе разрывов кольцевых нарушений выделены три зоны: внутренняя, промежуточная и внешняя.

Внутренняя зона следует вдоль контуров кимберлитовой трубки на расстоянии от нескольких метров до 80 м. Разрывные нарушения зоны имеют ярко выраженный кольцевой характер и относятся к типу крутых и вертикальных сбросов с углами наклона сместителей $57-90^{\circ}$. Амплитуда смещения изменяется от первых метров до 10 м.

Промежуточная зона разрывных нарушений в общих чертах повторяет контуры внутренней и внешней зоны и располагается от внутренней зоны на расстоянии 40–100 м, в западной части зона сопровождается несколькими оперяющими трещинами протяженностью до 100 м.

Внешняя зона имеет в плане форму выпуклого треугольника, равного в поперечнике 1,1–1,2 км. Зона образована почти полностью замкнутой серией разрывов длиной 100–350 м.

Дизъюнктивные структуры (разломы и трещины) являются основным фактором, определяющим блочную делимость горных пород, степень их устойчивости, а также отвечают за распределение и циркуляцию подземных вод в горном массиве. Поэтому информация об особенностях строения разломных зон и распределения трещин в массиве необходима для оценки вероятности возникновения ослабленных зон.

В 2019 г. специалистами ИЗК СО РАН были выполнены специализированные тектонофизические и геолого-структурные работы на месторождении трубка «Удачная». Результаты этих работ свидетельствуют о том, что тектоническая структура участка локализации трубки «Удачная» осложнена многочисленными субвертикальными (углы падения 60° и более), наклонными (углы падения $30-60^{\circ}$) и субгоризонтальными (углы падения менее 30°) разрывными нарушениями различной мощности и морфологии.

Разрывные нарушения представляют собой участки горного массива, которые в каждом конкретном случае могут быть выражены зонами повышенной трещиноватости, дробления, брекчирования, милонитизации, тектонического расщепления. Мощность таких зон колеблется от нескольких см до десяти и более метров. Разрывы первой группы создают блоковую делимость массива и служат вертикальными границами отдельных блоков, а разрывы последней группы являются их горизонтальными границами.

Общая структура субвертикальных зон, развитых в пределах участка локализации трубки «Удачная» следующая: в приконтактной части как в рудном теле, так и во вмещающих осадочных толщах развиты разрывы преимущественно северо-восточной ориентировки. Местами они образуют зоны

сгущения и являются путями миграции газов и рассолов [Дзюба, 1984; Шепелев, 1984]. По мере удаления от рудных тел определяющее значение в разрывной структуре приобретают разломы северо-западной ориентировки, которые в околоствольном пространстве сменяются разрывами север-северо-западного направления [Дроздов и др., 1989]. Часть из них также насыщена газом, водой и нефтью (рис. 3.6).

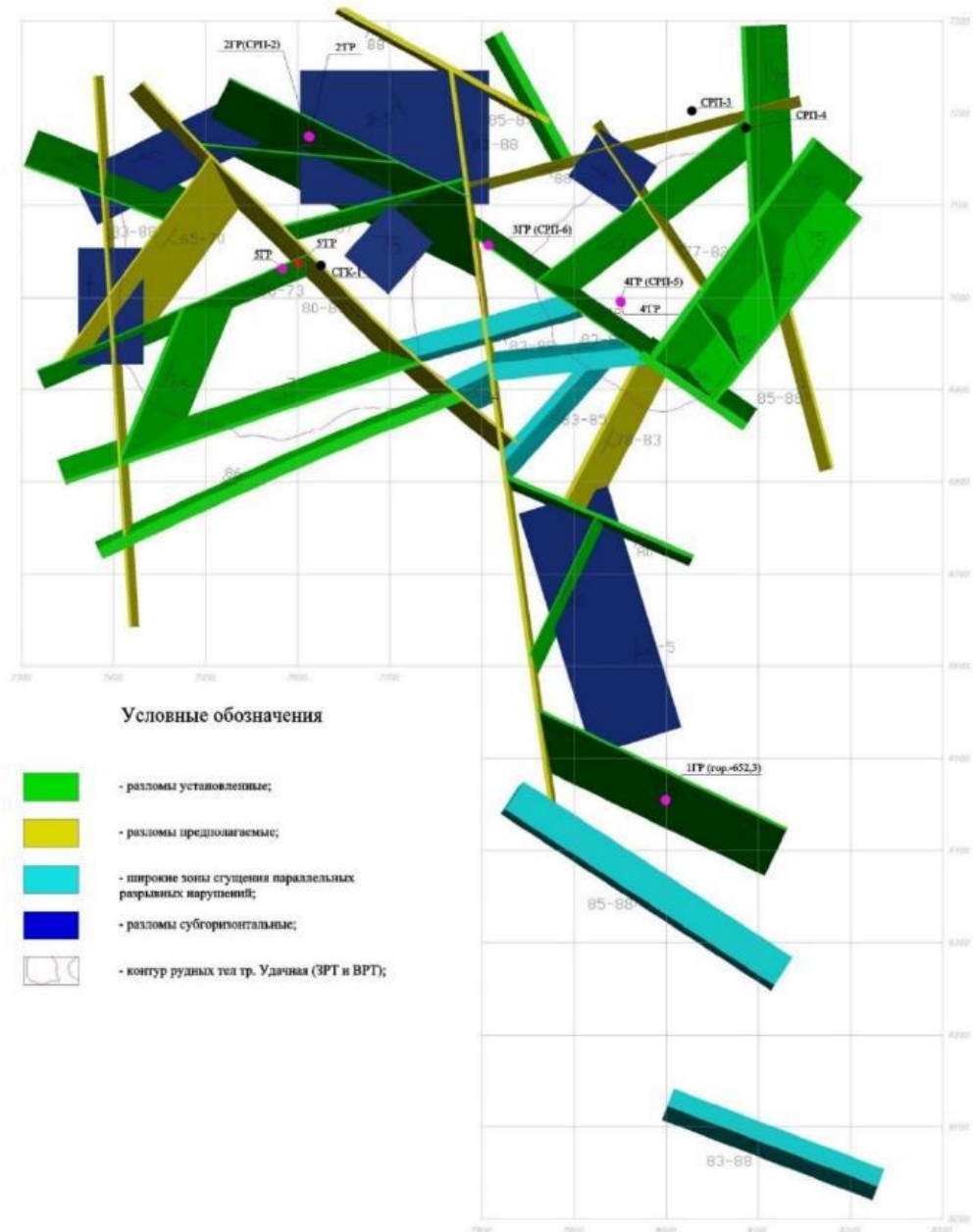
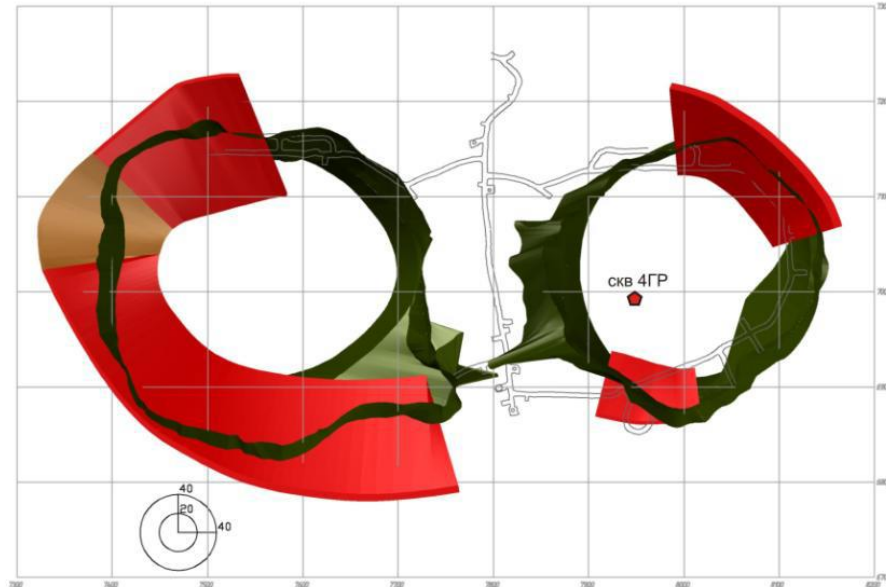


Рис. 3.6 Объемная схема разломно-блокового строения участка локализации кимберлитовой трубки «Удачная» (по материалам ИЗК СО РАН и Удачинского ГОКа).

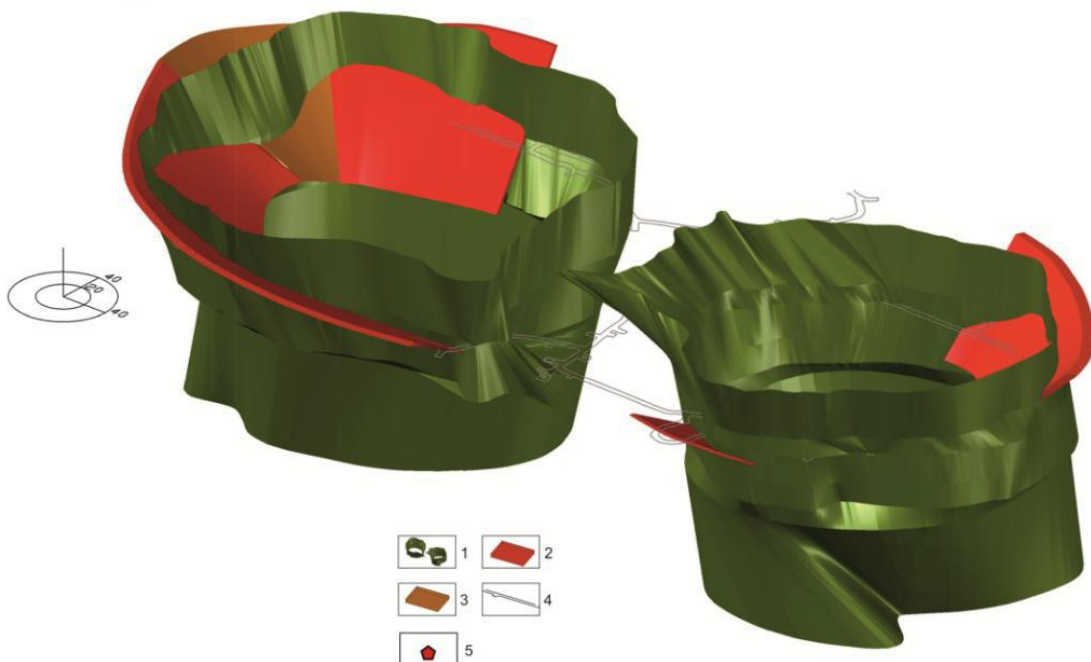
Наклонные разрывные нарушения менее развиты в массиве, нежели субвертикальные субгоризонтальные. По внешнему виду они представляют собой зоны повышенной трещиноватости или рассланцевания мощностью от 0,7

до 5–8 м, в редких случаях до 10 м. Большая часть зафиксированных наклонных зон располагается по периферии рудных тел (как в пределах кимберлитов, так и во вмещающих толщах), а углы падения направлены к их центральным частям трубок (рис.3.7).

А



Б



Условные обозначения: 1 - контуры рудных тел; 2, 3 - наклонные нарушения; 4 - горные выработки; 5 - скважина 4 ГР.

Рис. 3.7 Схема кольцевых нарушений по рудному телу и периферии трубки «Удачная» (А – вид сверху; Б – вид с юго-востока) (по материалам ИЗК СО РАН и Удачинского ГОКа).

Субгоризонтальные нарушения зафиксированы как во вмещающих отложениях, так и в рудных телах. Причем, в кимберлитах они представлены, главным образом, зонами повышенной трещиноватости мощностью 1–3 м, а во вмещающих – межслоевыми зонами повышенной трещиноватости/брекчирования мощностью до 5 м. В местах пересечения пологих и субгоризонтальных зон нарушений (преимущественно в кровельных частях выработок) формируются вывалы и заколы. По вертикали субгоризонтальные нарушения зафиксированы на отметках -315, -360, -400, -460 и -480 м. абс., то есть горизонтальные ограничения блоков характеризуются шагом 20–60 м.

После структурно-тектонической съёмки шахтного поля трубки «Удачная» выявлены два основных направления трещиноватости вмещающих пород – северо-восточное (азимут простирания $75-80^\circ$, угол падения $80-88^\circ$) и северо-западное (азимут простирания $330-340^\circ$ с углами падения $80-90^\circ$). Вертикальные перемещения по зонам трещиноватости, а также по зонам брекчирования отсутствуют. Кроме основных направлений трещиноватости по всему разрезу выделяются участки повышенной и интенсивной трещиноватости (зоны дробления) вмещающих пород по сравнению с основным фоном. Мощность участков изменяется от 2 до 66 м, зон дробления – от 0,5 до 9,8 м. Расстояния между субпараллельными трещинами-дислокациями составляют от 0,2 до 1,5 м. Зона нарушений вмещающих пород образует вокруг трубки полосу шириной от нескольких метров до 10 м. Нарушение дизъюнктивного характера отмечено к северо-востоку от месторождения и характеризуется смещением пород по плоскости смесителя до 10 м. Интенсивность трещиноватости пород, как правило, убывает с глубиной. По данным бурения трещины мощностью от 1,5 до 3,0 см (в количестве 1–2 трещины на 1 погонный метр) наблюдаются до глубины 50 м. Ниже встречаются только единичные трещины (1–2 трещины на 5 м керна), мощность которых не превышает нескольких миллиметров. Фиксируются трещины, как открытого типа, так и залеченные.

О влияние глубинных разломов на фильтрационные свойства коллекторов неоднократно указывалось при проведении исследований по коренным месторождениям алмазов западной Якутии (Дроздов А.В., Алексеев С.В., Иост Н.А. и др.), при этом отмечается разнонаправленное воздействие: с одной стороны, с ростом трещиноватости происходит увеличение фильтрационно-ёмкостных свойств, с другой – по зонам трещиноватости, залеченным вторичными минералами, зачастую происходит возрастание экранирующих свойств [Алексеев, 1983; Алексеев и др., 2001; Алексеев, Алексеева, 2000, 2000а, 2006; Дроздов, 2006а, 2000б, 2011; Ильин и др., 2017ф].

На рисунке 3.8 наглядно продемонстрировано данное воздействие. На левом керне, поднятом со скважины СРП-6 в отметках известняково-доломитовой толщи, отмечаются открытые каверны, развившиеся по системе субвертикальных открытых трещин. Керновые образцы справа – подняты при проходке скважины СРП-2 и приурочены к известняково-доломитовой толще (верхний) и удачининской свите (нижний), демонстрируют возникновение экранирующих свойств разреза из-за «залечивания» систем трещиноватости, образованных в предыдущие геологические периоды.



Рис. 3.8 Вмещающие породы в зоне тектонических нарушений (кern слева – открытые полости; образцы справа – трещины залечены).

В результате сопоставления выявленных разрывных нарушений и коэффициента водопроницаемости, шахтное поле месторождения можно представить следующим образом (рис. 3.9).

Зона №1 – вмещающие породы западного кимберлитового тела, в которой расположена скважина №СРП-2, данная зона характеризуется наименьшим $T = 1,6 \text{ м}^2/\text{сут}$. В данной зоне зафиксировано наименьшее количество оперяющих разломов (4 шт.), также для зафиксированных разломов характерна наименьшая альтитуда смещения, большинство наблюдаемых разрывных нарушений залечены гипсом и сульфидами.

Зона №2 – вмещающие породы восточного кимберлитового тела, в которой расположены скважины №СРП-3 и №СРП-4, данная зона характеризуется $T = 2,9\text{--}8,4 \text{ м}^2/\text{сут}$. Столь значимая разница, по всей видимости, обусловлена влиянием литолого-фациального и тектонического факторов, выделявшимися предыдущими исследователями. В пределах этой зоны зафиксировано 8 взаимно пересекающихся оперяющих разломов, причём для точек узлового пересечения характерна потеря геофизической корреляции, а

также обычны карбонатные брекчии, с большим количеством систем субвертикальных открытых трещин, достигающих 10–15 см.

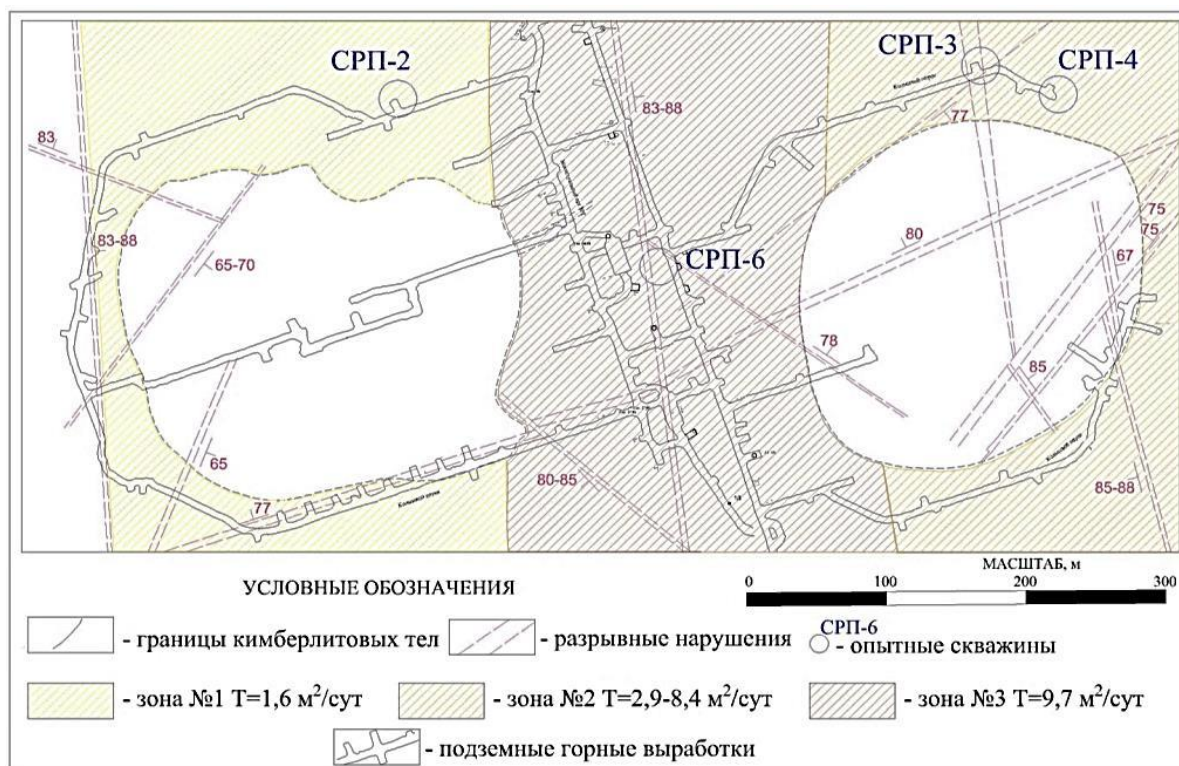


Рис. 3.9 Плановое расположение выделенных зон проводимости в отнм -465/-600 м относительно тела трубки «Удачная» и выделенных в процессе работ оперяющих разломов (составлена по материалам МСШСТ и УГОКа).

Зона №3 – вмещающие породы межтрубоного блока, здесь расположена скважина №СРП-6, данная зона характеризуется наибольшим $T = 9,7 \text{ м}^3/\text{сут}$. Зона характеризуется наибольшей тектонической нарушенностью, причём для наблюдаемых разломов характерны альтитуды смещения (до 5 м), а также существенная открытая тектоническая трещиноватость вмещающих пород.

3.3 Магматизм

В геологическом строении шахтного поля принимают участие среднепалеозойские магматические ультраосновные образования – кимберлитовая трубка «Удачная» и сопряжённые кимберлитовые жилы [Строение земной ... , 1986] (рис. 3.10).

Трубка «Удачная» приурочена к пересечению субширотной системы разломов с разломами северо-западного и северо-восточного простирания. Месторождение состоит из двух кимберлитовых трубок, обособление которых происходит с глубины 250 м, в верхней части, на глубинах 0–250 м (в настоящее время отработанной карьером) объединённых в одно кимберлитовое тело

[Устинова, 1964; Розен и др., 2002]. Расстояние между обособленными кимберлитовыми телами (западное и восточное) с глубиной возрастает: на отм. -480 м оно составляет 193 м, на отм. -680 м – 304 м, на отм. -880 м – 317 м, на отм. -1080 м – 325 м, увеличение расстояния между телами происходит вследствие сужения кимберлитовых диатрем (табл. 3.1).

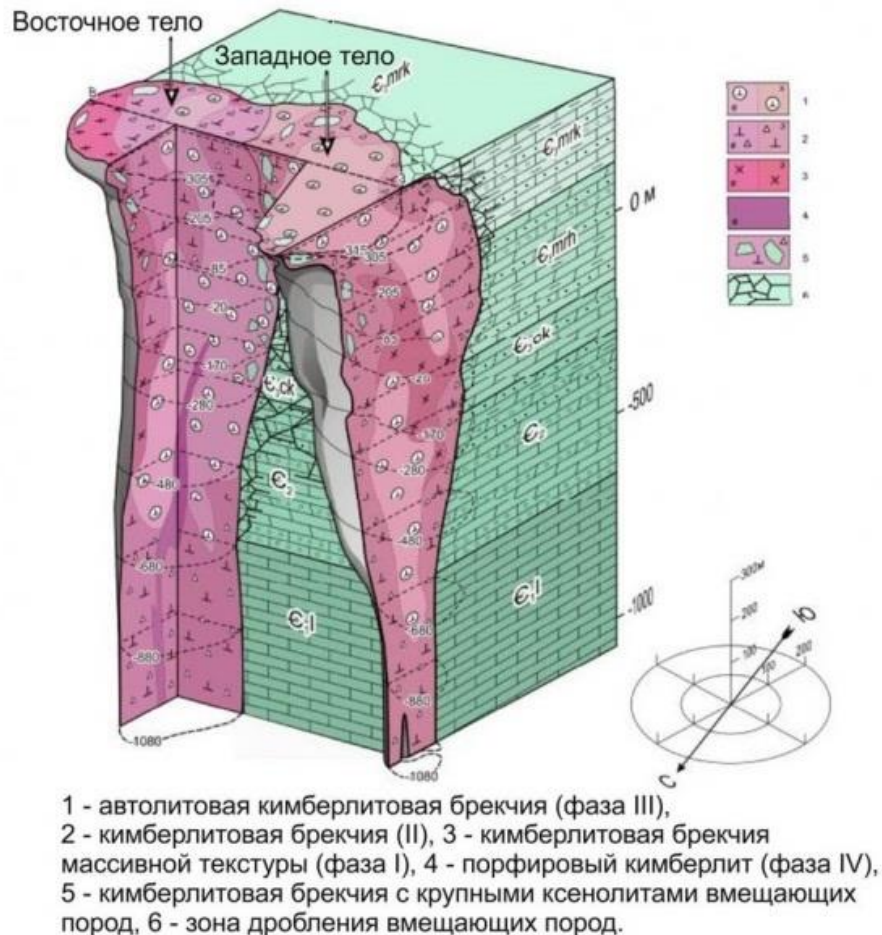


Рис. 3.10 Геологическая модель трубки «Удачная».

Таблица 3.1

Особенности кимберлитовых тел

Показатели	ЗРТ	ВРТ
Форма кимберлитовых тел	Сложно построенная система, разветвляющаяся с глубины 250 м на два тела	
Площадь тел, м ² :		
на гор. -320 м	79 010	61 086
на гор. -580 м	42 361	40 264
на гор. -680 м	25 314	36 555
на гор. -780 м	18 611	40 931
Размеры по осям, м:		
на гор. -580 м	245x195	280x175
на гор. -680 м	190x175	270x175
на гор. -780 м	160x135	280x190

продолжение таблицы 3.1

Показатели	ЗРТ	ВРТ
Углы контактов.	70-120	85
Расстояние между телами, м: на гор. -320 м на гор. -680 м	140 304	
Плотность кимберлитов в интервале абс. отм. -320/-780 м, т/м ³	2,59	2,62
Температура тел, °С: на гор. -320 м на гор. -680 м	от -4,5 от - 2,4	до - 2,5 до 1,0
Петрология тел	мелко- и крупнообломочные автолитовые и кимберлитовые брекчии, порфиновые кимберлиты	
Особенности тел	Наличие зон разуплотнения, заполненных глиноподобной брекчией, полиминеральными галогенными попродами или газонасыщенными рассолами. Проявление глубинного выщелачивания. Развитие зеркал скольжения, зон трещиноватости и дробления мощностью от 0,5 до 3 м.	Относительно большая плотность, крепость. Прослеживание зеркал скольжения, зон трещиноватости и дробления мощностью до 3 м. Вторичная минерализация и окремнение по трещинам, зеркалам скольжения и приконтактной зоне.

Западное тело характеризуется несколько вытянутой в северо-западном направлении эллипсоидной формой; с глубиной форма горизонтальных сечений меняется, приобретая всё более изометричные очертания. Размеры тела на горизонте -580 м составляют 260x212 м, а на гор. -1080 м – 110x136 м. Контакты рудного тела с вмещающими породами, в основном, резкие, четкие и лишь в редких случаях отмечаются "плавающие" контакты, образующиеся в результате брекчирования вмещающих пород в зоне ближнего экзоконтакта. Падение контактов тела направлено к центру и поэтому размеры его с глубиной постепенно уменьшаются. Углы падения западного борта рудного тела между горизонтами -580/-1080 м составляют 80–85°, а его восточный борт до горизонта -780 м имеет выдержанное падение под углом 60°, а ниже до гор. -1080 м угол падения постепенно увеличивается вплоть до вертикального. Между

горизонтами -880/-1080 м при доразведке месторождений вскрыт массив осадочных пород удачинской свиты с ненарушенной первичной текстурой. Строение Западного тела неоднородное. Трубка, в основном, сложена кимберлитовой брекчией, а в краевых частях диатремы нередко отмечаются реликты порфиривого кимберлита, сформировавшегося на раннем этапе кимберлитобразования. Обломки порфиривого кимберлита встречаются также и в самой кимберлитовой брекчии. Вместе с тем, в последней иногда отмечаются достаточно крупные (до 10 м и более) ксенолиты вмещающих пород, так называемые "плавающие рифы". Между горизонтами -580/-1080 м зафиксированы зоны разуплотнений, приуроченные к разрывным нарушениям, мощностью от нескольких метров до нескольких десятков метров, заполненные брекчированными породами, друзами кальцита, полиминеральными галогенными породами, рассолами и газами. Выделяемые в пределах западного кимберлитового тела многочисленные зоны дробления, формируют интервалы высокопроницаемых пород, с циркуляцией природных насыщенных рассолов, вследствие чего кимберлиты зачастую сильно выщелочены и дезинтегрированы.

Восточное тело в горизонтальном сечении имеет эллипсоидную форму, несколько вытянутую в северо-восточном направлении. Размеры тела на горизонте -480 м составляют 280x245 м, а на гор. -1080 м – 290x188 м. Очертания контуров рудного тела в горизонтальных сечениях плавные и лишь в юго-восточной части трубки на горизонте -480 м отмечается небольшой раздув тела, сопровождающийся резким изгибом контура. Контакты рудного тела с вмещающими породами, в основном, резкие, четкие, в редких случаях – "плавающие" за счет брекчирования вмещающих пород в зоне ближнего экзоконтакта. Падение западного борта трубки почти вертикальное, южный борт более пологий (85°), а северо-восточный имеет обратное падение под углом 80° . Строение Восточного тела неоднородное. Также как и Западное тело, оно сложено преимущественно автолитовой кимберлитовой брекчией, а в краевых частях диатремы отмечаются реликты порфиривого кимберлита ранней фазы внедрения. Обломки порфиривого кимберлита нередко встречаются и в самой кимберлитовой брекчии наряду с крупными (многие метры) ксенолитами вмещающих пород. В отличие от Западного, Восточное менее трещиновато: зоны повышенной трещиноватости отмечены здесь преимущественно в приконтактных частях трубки.

Трапповая формация. Породы этой формации в районе трубки «Удачная» занимают незначительные площади и отмечаются в основном в зоне Октябрьского разлома, в северо-западной части площади и по юго-западному обрамлению территории работ, в пределах траппового плато Алакит-Мархинского кимберлитового поля.

3.4. Гидрогеологическая характеристика шахтного поля трубки «Удачная»

Согласно общепринятой схеме, которая устанавливает взаимоотношение подземных вод и ММП, на территории выделяются три основных типа подземных вод: *надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные* [Романовский, 1966].

Надмерзлотные представлены водами сезонно-талого слоя (СТС), а также гидрогенными несквозными подрусловыми и подождёрными таликами. Воды СТС характеризуются сплошным распространением и приурочены к рыхлым аллювиальным, склоновым, элювиальным четвертичным отложениям. Они существуют сезонно. Питание осуществляется за счёт атмосферных осадков. Обычно только в течение летне-осеннего периода [Степанов, 1985]. Нижним водоупором для таких вод служат многолетнемёрзлые породы. Мощность горизонта не превышает 1,0–2,5 м. Сток надмерзлотных вод СТС происходит в соответствии с уклоном поверхности земли. Поэтому существование, режим, динамика этих вод в значительной степени определяется рельефом. Подземные воды имеют преимущественно гидрокарбонатный, сульфатно-гидрокарбонатный магниевый-кальциевый или кальциевый-магниевый состав с минерализацией от 0,03 до 0,5 г/л. В терригенно-карбонатных породах величина минерализации вод СТС составляет 0,18–0,48 г/л. В трапах она существенно ниже и не превышает 0,18 г/л. Значения рН изменяются от 6,9 до 7,6.

Межмерзлотные воды в рамках шахтного поля не зафиксированы. В пределах Далдынского кимберлитового поля данные воды имеют спорадическое распространение и, как правило, приурочены к отложениям олдондинской свиты. Межмерзлотные воды, по сути, являются рассолами вымораживания и представлены хлоридно-кальциевыми водами с минерализацией 50–92 г/л [Кононова, 1979]. Так в скважинах, расположенных на правом берегу реки Сытыкан, межмерзлотные линзы вскрываются в скважинах № 61, 75, 76, 76-н, 77 на глубинах 110–118 м (в абс. отм. +184 ÷ +192 м). [Дроздов, Иост, Лобанов и др., 2008; Вахромеев, 2009].

Подмерзлотные воды в районе распространены повсеместно. В процессе отработки месторождения открытыми и подземными горными выработками будут вскрыты: верхнекембрийский, среднекембрийский и нижнекембрийский водоносные комплексы (рис. 3.11).

Как отмечалось ранее (глава 2) верхнекембрийский водоносный комплекс в настоящее время не оказывает существенного влияния на ведение горных работ на месторождении, т.к. в пределах шахтного поля существенно сдренирован и формирует притоки не более 50 м³/сут.

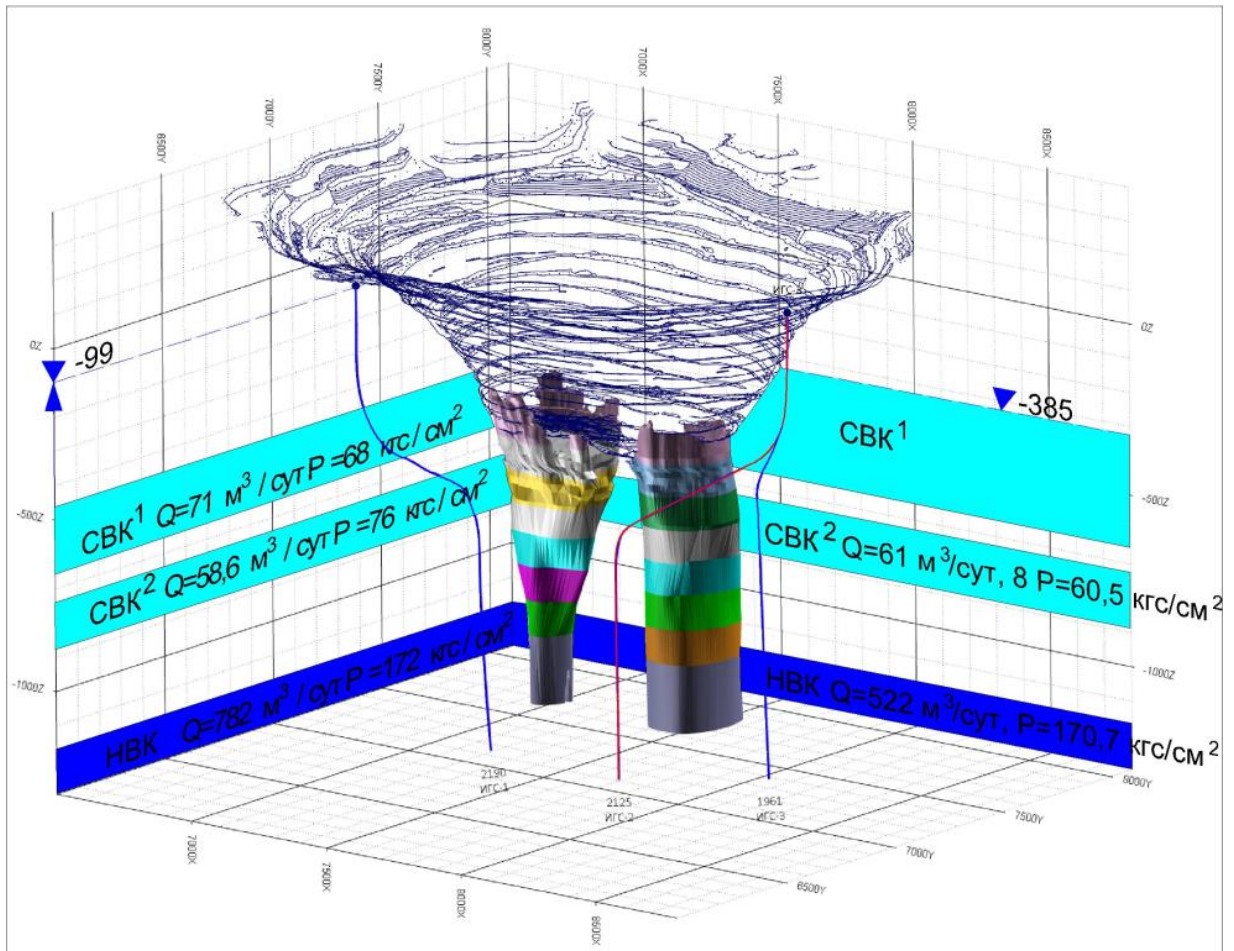


Рис. 3.11 Схема вскрываемых водоносных комплексов.

Из всех перечисленных водоносных комплексов, наибольшее влияние на развитие горных работ, как в настоящее время, так и в ближайшие 10–15 лет оказывает среднекембрийский водоносный комплекс.

При планируемом увеличении глубины отработки месторождения до 1650 м от дневной поверхности, начиная с глубины 1300 м, доминирующую роль в формировании сложных горно-геологических условий займёт нижезалегающий нижнекембрийский водоносный комплекс [Атрощенко, Филин, 2003].

3.4.1. Гидрогеологическая характеристика среднекембрийского водоносного комплекса

Основным гидрогеологическим объектом, осложняющим горнотехнические условия отработки кимберлитовой трубки «Удачная» в отм. -200/-1000 м, является региональный среднекембрийский водоносный комплекс, т.к. в настоящее время основная доля водопритоков в подземные горные выработки приходится на эту водоносную толщу. Водоносный комплекс (по новой стратификации) приурочен к переслаивающимся карбонатным отложениям известняково-доломитовой толщи ($C_2 id$) и карбонатным отложениям верхней пачки удачининской свиты ($C_{1-2} ud^2$) нижнего-среднего

кембрия. Характеристика СВК по скважинам, пробуренным с дневной поверхности, приведена в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Характеристика коллекторов среднекембрийского водоносного комплекса

№ скважин	Интервал водоносного комплекса, от-до, м в абс. отметках	Общая мощность, м	Эффективная мощность, м	К пористости общ (по ГИС), % min-max среднее	Примечание
<i>район трубки Удачная</i>					
КСС-1	<u>608,6 - 1096,2</u> -261,2/-748,8	487,6	138,7	<u>4,0 - 18,0</u> 9,8	вскрыто не на полную мощность
КСС-2	<u>607,6 - 1468,7</u> -263,7/-1119,7	834,7	242,3	<u>4,5 - 29,0</u> 8,4	607,6-1083,6м; 1110,0-1468,7м
КСС-3	<u>614,4 - 1095,5</u> -263,7/-744,8	481,1	124,7	<u>5,5 - 23,0</u> 10,6	вскрыто не на полную мощность
306	<u>620,6 - 1108,2</u> -275,1/-762,7	487,6	129,7	<u>5,0 - 33,0</u> 14,2	вскрыто не на полную мощность
307	<u>614,4 - 735,0</u> -269,3/-389,2	120,6	55,0	<u>8,7 - 26,7</u> 17,4	вскрыто не на полную мощность
308	<u>607,4 - 1373,8</u> -267,0/-1033,4	695,0	262,4	<u>2,0 - 20,0</u> 10,7	607,4-1082,8м; 1154,2-1373,8м
310	<u>638,8 - 1352,0</u> -267,4/-980,6	667,8	204,8	<u>2,3 - 23,0</u> 13	638,8-1122,8м; 1168,2-1352,0м
311	<u>635,6 - 766,6</u> -262,9/-393,9	131,0	46,1	<u>6,2 - 30,0</u> 14,2	вскрыто не на полную мощность
312	<u>644,8 - 944,0</u> -271,3/-570,5	299,0	129,6	<u>7,0 - 24,0</u> 15,5	вскрыто не на полную мощность
314	<u>520,5 - 797,8</u> -222,5/-499,8	277,3	235,8	<u>9,0 - 33,2</u> 21,8	вскрыто не на полную мощность
316	<u>566,0 - 1239,8</u> -272,6/-946,4	627,1	335	<u>6,0 - 30,0</u> 18,6	566,0-1042,0м; 1088,7-1239,8м
317	<u>520,0 - 711,6</u> -223,6/-415,2	191,6	140,8	<u>12,0 - 24,0</u> 20,6	вскрыто не на полную мощность
329	<u>532,5 - 743,2</u> -226,1/-436,8	210,7	110,7	<u>1,5 - 29,0</u> 16,8	вскрыто не на полную мощность
523	<u>527,6 - 1065,6</u> -219,8/-757,8	513,3	170,6	<u>10,0 - 36,0</u> 18,1	вскрыто не на полную мощность
703	<u>535,0 - 1053,6</u>	518,6	92,6	<u>8,0-15,0</u>	
	-184,3/-702,9			13	

По результатам гидрогеологических исследований, в разрезе СВК условно выделены два водоносных горизонта (СВК¹ и СВК²), существенно отличающиеся фильтрационными свойствами:

Первый водоносный горизонт (СВК¹), приуроченный к карбонатным отложениям известняково-доломитовой толщи, обладает максимальной мощностью около 480 м. Граница между нижним горизонтом верхнекембрийского и первым водоносным горизонтом среднекембрийского водоносного комплекса проходит по подошве первой пачки мархинской свиты (бывшей чукукской свиты). Первая пачка залегает на глубинах с абсолютными отметками от –220 до –260 м. Подошвой горизонта служат плотные, практически водоупорные эпифитоновые и органогенно-обломочные известняки удачининской пачки нижнего и среднего кембрия (~750 абс. м). Подземные воды приурочены к пластам-коллекторам в известняках и доломитах, которые составляют около 40 % мощности отложений свиты. Тип коллекторов кавернозно-поровый. Мощность водоносного горизонта не выдержана и колеблется в районе месторождения от 10 до 480 м. Максимальные значения мощности водовмещающих пород зафиксированы в северо-восточной части флексуры, минимальные – в зоне Октябрьского разлома. Объясняется это тем, что породы толщи подстилаются биогермными отложениями удачининской свиты, характер поверхности биогермных построек отличается резкой рельефностью. В зоне же Октябрьского разлома зафиксирован гребень барьерного рифа. Отложения толщи характеризуются высокой открытой пористостью и проницаемостью.

По результатам лабораторных исследований керна коэффициент пористости ($K_n^{обш}$) пород, слагающих коллекторы СВК¹ в пределах Далдынской флексуры, варьирует в пределах 0,4–26,2 % при средней величине 9,93 %. В районе трубки «Удачная» коэффициент пористости ($K_n^{обш}$) пород коллекторов СВК¹ варьирует в пределах 0,07–29,55 % при средней величине 5,91 %. Средняя суммарная мощность коллекторов составляет 250 м, а мощность отдельных проницаемых пластов изменяется от 0,1 до 8–10 м. По результатам испытаний КИИ-95 суммарные водопритоки при полной депрессии на пласт изменяются от 0,1 до 15 м³/час. При этом притоки в скважинах, расположенных на северо-восточном борту Далдынской флексуры, изменяются от 0,1 до 3,6 м³/час при средней величине 1,7 м³/час. Притоки в скважинах, расположенных в пределах Далдынской флексуры изменяются от 0,2 до 15 м³/час (средняя величина – 4,5 м³/час). В скважинах, расположенных в пределах трубки «Удачная» притоки от 0,003 до 10,2 м³/час (при средней величине – 1,95 м³/час). В скважинах, расположенных на юго-западном борту Далдынской флексуры, средняя величина притоков до 0,4 м³/час при максимальных притоках до 1 м³/час.

Водоносный горизонт характеризуется существенной неоднородностью фильтрационных параметров по глубине и латерали. Значения коэффициента водопроницаемости изменяются от 1,0 до 60,0 м²/сут. В целом, в разрезе среднекембрийского водоносного комплекса первый водоносный горизонт является наиболее водообильным.

Второй водоносный горизонт (СВК²) приурочен к верхней части удачинской свиты, представленной рифовыми кавернозно-трещиноватыми известняками и доломитами (мощностью до 450–500 м). Кровлей водоносного горизонта служат глинистые пачки карбонатных пород, залегающие на отметках от -650 до -700 абс. м. Подошвой горизонта являются плотные, практически водоупорные эпифитоновые и органогенно-обломочные известняки удачинской свиты, залегающие в интервале -1050...-1080 абс. м. Максимальная мощность водоупорной пачки, разделяющей первый и второй горизонты, составляет около 70 м. Тип коллекторов водонасыщенных пород горизонта – кавернозно-поровый. По результатам лабораторных исследований керн коэффициент пористости ($K_n^{общ}$) пород, слагающих коллекторы СВК² в пределах Далдынской флексуры, варьирует в пределах 0,4–2,1 % при средней величине 1,18 %. В районе трубки «Удачная» коэффициент пористости ($K_n^{общ}$) пород коллекторов СВК² варьирует в пределах 0,4–16,5 % при средней величине 3,55 %. По результатам поинтервальных исследований пластоиспытателями КИИ-95 суммарные водопритоки варьируются от 92,5 до 330,0 м³/сут. Водоносный горизонт характеризуется высокими значениями пластовых давлений, которые изменяются от 7,0 до 15,6 МПа и увеличиваются к подошве горизонта. По данным поинтервального опробования пластоиспытателем, водопритоки из коллекторов составляют от 0,02 до 1,2 л/с, а водопроницаемость от 0,024 до 0,59 м²/сут.

Гидравлическая связь с вышележащим первым водоносным горизонтом установлена и наиболее ярко проявляется по разрывным нарушениям массивов осадочных толщ пород.

С 1985 г. гидродинамический режим СВК формируется под влиянием вертикальной разгрузки подземных рассолов в забой карьера и подземные горные выработки рудника.

Непосредственно в пределах рудника «Удачный» распределение коэффициентов водопроницаемости соответствует также региональной схематизации, граница, разделяющая полосу повышенных и пониженных фильтрационных характеристик, прилегающих к оси Далдынской флексуры и Октябрьского разлома, расположена между рудными телами месторождения. По данным проведенных откачек продолжительностью до суток прослеживается связь фильтрационных характеристик от положения тектонических разломов.

Результаты опытно-фильтрационных работ, проведенных в скважинах на среднекембрийский водоносный комплекс.

№ скважины	Интервал исследования	Q, м ³ /ч	S, м	Km, м ² /сут
Северное примыкание к ЗРТ				
СРП-2	/-465/-/-600/	0,44		1,6
	/-465/-/-700/	0,35		0,49
2ГР	/-465/-/-703,8/	0,18	94,7	0,03
	/-465/-/-720,8/	0,48	17,7	0,71
	/-465/-/-819,8/	17,84	149,6	2,22
ЗРТ				
16/45	/-282,9/-/-577,9/	4,2	71,5	
-04/45	/-240,5/-/-580,5/	31,8	43	18,06
12/49	/-218,6/-/-381,0/	0,12	50,1	0,251
5ГР'	/-465/-/-612,8/	18,3	18	39,45
	/-465/-/-719,8/	6,33	2,8	10,6
	/-465/-/-820/	9,61	5,9	12,36
СГК-1	/-465/-/-684,8/	1,4		2,32
СГФ-33	/-465/-/-820/	0,3	80	0,3
СГФ-8	/-465/-/-820/	4,0	0,4	120
межтрубье				
52/49(1Г)	/-274,4/-/-382,7/	6,9	113	0,015
56/29(3Г)	/-285/-/-383/	2,75	96,5	0,146
3ГР	/-465/-/-703,8/	0,09	82,7	0,02
	/-465/-/-720,8/	0,08	62,3	0,01
	/-465/-/-819,8/	37,17	74	4,63
СРП-6	/-465/-/-600/	0,14		9,7
	/-465/-/-700/	0,11		1,82
324-Н	/-254,9/-/-379,9/	10	47,7	5,81
64/29(5Г)	/-289,1/-/-399,1/	15	68,5	1,57
3Д	/-275,2/-/-481,2/	27	128,8	21,14
2Д	/-257,3/-/-480,3/	8,5	145,2	3,45
68/21(4Г)	/-271,6/-/-381,6/	59	43,2	135,3
1Д	/-364,2/-/-482,2/	10	161,6	3,31
ВРТ				
88/41	/-239,4/-/-388,4/	50	4,5	208,6
92/53	/-239,4/-/-580,4/	50	1,9	
СРП-3	/-465/-/-600/	0,22		8,4
	/-465/-/-700/	0,21		1,21
СРП-4	/-465/-/-600/	0,34		2,9
	/-465/-/-700/	0,29		0,92
1ГР	/-465/-/-752,3/	0,19	111,1	0,01
	/-465/-/-821,3/	0,17	98,2	0,02

Опробования водоносного комплекса проведены в интервале среднекембрийского водоносного комплекса до отметки -820 м абс. При этом наибольшие дебиты при откачках получены в пределах восточного рудного тела и в межтрубье в скважинах 88/41, 92/53 и 68/21(4Г) в отметках до -580 м абс. в рудном теле и до -380 м абс. в межтрубье.

Поинтервальные выпуски, проведенные в гидрогеологических скважинах с отметок -465/-480 м абс. 1ГР,2ГР,3ГР,5ГР', показали рост водопроницаемости при достижении забоев скважин отметок -820 м абс, что подтверждается увеличением наблюдаемого притока подземных вод. При интервальных опробованиях в скважинах СРП-2, СРП-3, СРП-4 СРП-6 – наибольшие значения водопроницаемости получены в отметках от -465 до -600 м абс., а при достижении забоев отметки -700 м абс. отмечается снижение в 3–10 раз. Причем пары скважин, расположенные в пределах одного блока (СРП-2 и 2ГР, СРП-6 и 3ГР) имеют схожие значения с существенными поинтервальными отличиями (рис. 3.12).

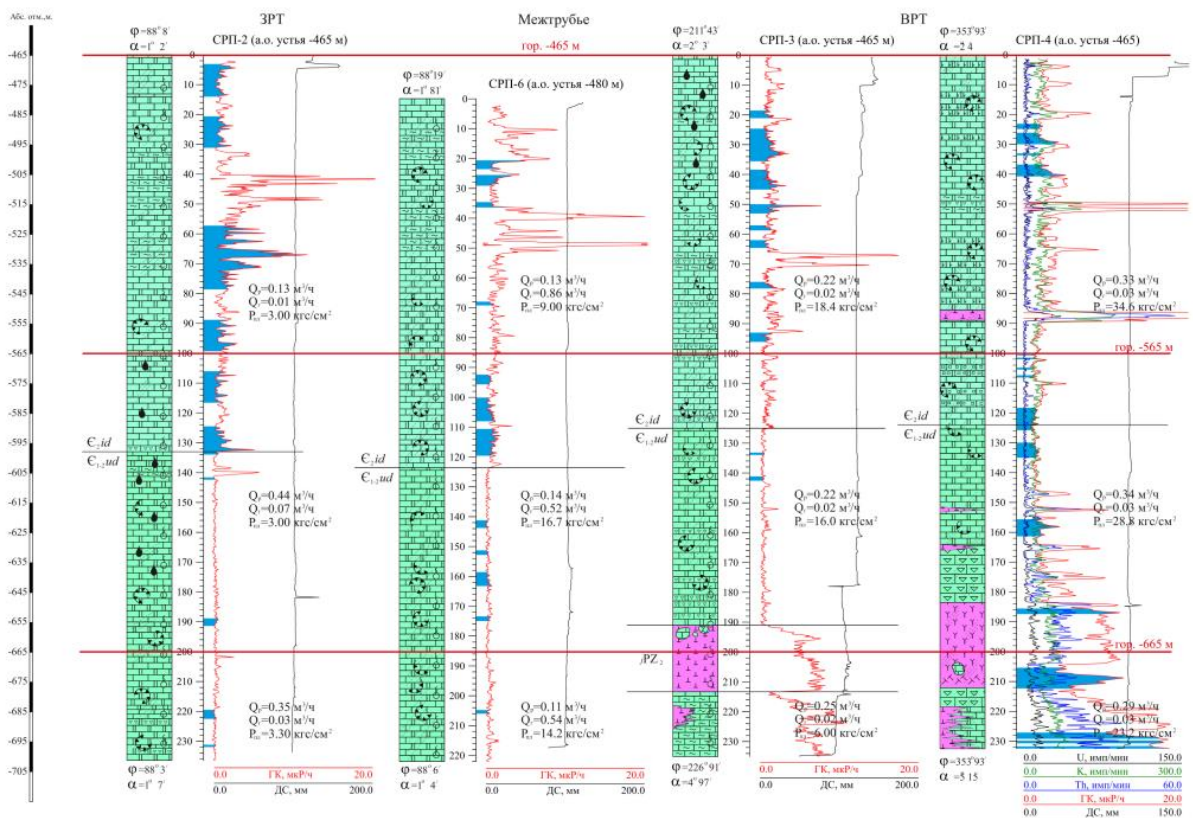


Рис 3.12 Корреляционная схема по скв. №№ СРП-2, СРП-6, СРП-3 и СРП-4.

В результате качественной интерпретации и апробации проведенных исследований (ГИС, выпуски пластовых вод и визуальное изучение керна) в породах известняково-доломитовой толщи, в рамках изучаемого интервала, было выделено 6 газо- и водонасыщенных коллекторов [Янников, 2020а ф, 2021е ф]. Эффективная мощность коллекторов от 1,0 до 12,0 м. Породы в

интервале коллекторов представлены трещиноватыми, пористо-кавернозными доломитами и известняками. Каждый коллектор содержит от 1 до 7 проницаемых пластов-коллекторов, разделённых между собой глинистыми разностями указанных карбонатных пород. Мощность пластов – коллекторов от 0,2 м до 9,3 м. Тип пористости – межзерновой и межзерново-кавернозный. Общая эффективная мощность вскрытых коллекторов известняково-доломитовой толщи в рамках изучаемого интервала составляет 28–36 м (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Характеристика коллекторов известняково-доломитовой толщи в отм. -465/-600

№ коллектора п/п	Кровля, м	Подошва, м	Мощность, м	Примечание
1	2	3	4	5
Скважина № СРП-2 (а. о. устья -465 м)				
1	1,7	2,0	0,3	Газо-водонасыщенные коллекторы. Тип пористости: межзерновой и кавернозно-межзерновой
	-466,7	-467,0		
	2,2	2,4	0,2	
	-467,2	-467,4		
	3,7	4,0	0,3	
	-468,7	-469,0		
	6,7	7,5	0,8	
	-471,7	-472,5		
	8,5	11,8	3,3	
	-473,5	-476,8		
	12,3	14,8	2,5	
	-477,3	-479,8		
15,8	16,3	0,5		
-480,8	-481,3			
2	20,6	21,8	1,2	
	-485,6	-486,8		
	23,8	24,2	0,4	
	-488,8	-489,2		
	26,6	29,8	3,2	
	-491,6	-494,8		
	30,4	31,2	0,8	
-495,4	-496,2			
3	57,7	58,5	0,8	
	-522,7	-523,5		
	61,2	65,7	4,5	
	-526,2	-530,7		
	66,8	68,5	1,7	

продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4	5
3	-531,8	-533,5	1,3	
	72,2	73,5		
	-537,2	-538,5	3,7	
	74,5	78,2		
	-539,5	-543,2		
4	89,0	90,4	1,4	
	-554,0	-555,4		
	95,3	95,6	0,3	
	-560,3	-560,6		
	98,5	99,0	0,5	
	-563,5	-564,0		
5	106,5	107,0	0,5	
	-571,5	-572,0		
	108,5	109,0	0,5	
	-573,5	-574,0		
	110,0	110,5	0,5	
	-575,0	-575,5		
	111,6	112,0	0,4	
	-576,6	-577,0		
	113,3	113,9	0,6	
	-578,3	-578,9		
	115,0	115,8	0,8	
-580,0	-580,8			
6	124,9	128,9	4,0	
	-589,9	-593,9		
	131,6	132,9	1,3	
	-596,6	-597,9		
СУММАРНАЯ МОЩНОСТЬ			36,3	
Скважина № СРП-3 (а. о. устья -465 м)				
1	19,0	21,5	2,5	Газо- водонасыщенные коллекторы. Тип пористости: межзерновой и кавернозно- межзерновой
	-484,0	-486,5		
2	26,5	29,0	2,5	
	-491,5	-494,0		
	29,5	36,0	6,5	
	-494,5	-501,0		
3	38,5	45,0	6,5	
	-503,5	-510,0		
	50,0	52,7	2,7	
	-515,0	-517,7		
4	57,0	59,0	2,0	
	-522,0	-524,0		

продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4	5	
4	62,1	62,5	0,4		
	-527,1	-527,5			
	63,5	64,5	1,0		
	-528,5	-529,5			
5	76,0	78,2	2,2		
	-541,0	-543,2			
6	92,7	95,9	3,2		
	-557,7	-560,9			
СУММАРНАЯ МОЩНОСТЬ			29,5		
Скважина № СРП-4 (а. о. устья -465 м)					
1	23,5	25,2	1,7	Газо- водонасыщенные коллекторы. Тип пористости: межзерновой и кавернозно- межзерновой	
	-488,5	-490,2			
	26,5	30,0	3,5		
	-491,5	-495,0			
2	33,3	34,5	1,2		
	-498,3	-499,5			
	36,4	41,0	4,6		
	-501,4	-506,0			
3	87,4	89,8	2,4		
	-552,4	-554,8			
4	101,5	102,0	0,5		
	-566,5	-567,0			
	102,6	102,9	0,3		
	-567,6	-567,9			
	105,5	105,7	0,2		
	-570,5	-570,7			
	108,8	109,8	1,0		
-573,8	-574,8				
5	118,6	125,6	7,0		
	-583,6	-590,6			
6	130,0	135,5	5,5		
	-595,0	-600,5			
СУММАРНАЯ МОЩНОСТЬ			27,9		
Скважина № СРП-6 (а. о. устья -480 м)					
1	20,2	23,3	3,1	Газо- водонасыщенные коллекторы. Тип пористости: межзерновой и кавернозно- межзерновой	
	-500,2	-503,3			
	25,7	28,7	3,0		
	-505,7	-508,7			
2	34,5	36,5	2,0		
	-514,5	-516,5			

продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4	5
3	68,0	69,0	1,0	
	-548,0	-549,0		
4	93,5	95,5	2,0	
	-573,5	-575,5		
5	100,0	108,0	8,0	
	-580,0	-588,0		
6	110,2	119,5	9,3	
	-590,2	-599,5		
СУММАРНАЯ МОЩНОСТЬ			28,4	

В результате качественной интерпретации и апробации проведенных исследований (ГИС, выпуски пластовых вод и визуальное изучение керна) в породах *удачнинской свиты* было выделено 5 газо- и водонасыщенных коллекторов. Эффективная мощность коллекторов от 0,4 до 6,7 м. Породы в интервале коллекторов представлены трещиноватыми, пористо-кавернозными доломитами и известняками. Каждый коллектор содержит от 1 до 2 проницаемых пластов-коллекторов, разделённых между собой глинистыми разностями указанных карбонатных пород. Мощность пластов – коллекторов от 0,4 м до 6,7 м. Тип пористости – межзерновой и межзерново-кавернозный. Общая эффективная мощность вскрытых коллекторов *удачнинской свиты* в рамках изучаемого интервала составляет 6–15 м (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Характеристика коллекторов *удачнинской свиты* в отм. /-600/ – /-700/

№ коллектора п/п	Кровля, м	Подшва, м	Мощность, м	Примечание
1	2	3	4	5
Скважина № СРП-2 (а. о. устья -465 м)				
1	133,7	134,1	0,4	Газо- водонасыщенные коллекторы. Тип пористости: межзерновой и кавернозно- межзерновой
	-598,7	-599,1		
2	141,0	142,5	1,5	
	-606,0	-607,5		
3	189,8	191,0	1,2	
	-654,8	-656,0		
4	219,5	222,5	3,0	
	-684,5	-687,5		
5	231,0	231,7	0,7	
	-696,0	-696,7		
СУММАРНАЯ МОЩНОСТЬ			6,8	

продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	
Скважина № СРП-3 (а. о. устья -465 м)					
1	140,0	141,5	1,5	Газо-водонасыщенные коллекторы. Тип пористости: кавернозно-межзерновой	
	-605,0	-606,5			
2	159,5	160,0	2,5		
	-624,5	-625,0			
	165,0	167,0			
	-630,0	-632,0			
Скважина № СРП-3 (а. о. устья -465 м)					
3	133,7	134,1	3,7		
	-598,7	-599,1			
4	141,0	142,5	2,8		
	-606,0	-607,5			
5	189,8	191,0	2,5		
	-654,8	-656,0			
СУММАРНАЯ МОЩНОСТЬ			13,0		
Скважина № СРП-4 (а. о. устья -465 м)					
1	157,0	162,6	5,6		
	-622,0	-627,6			
2	187,0	188,3	1,3		
	-652,0	-653,3			
3	206,8	213,5	6,7		
	-671,8	-678,5			
4	228,7	229,2	0,5		
	-693,7	-694,2			
	230,8	231,5	0,7		
	-695,8	-696,5			
5	234,6	235,1	0,5		
	-699,6	-700,1			
СУММАРНАЯ МОЩНОСТЬ			15,3		
Скважина № СРП-6 (а. о. устья -480 м)					
1	141,5	143,5	2,0		
	-621,5	-623,5			
2	151,3	152,9	1,6		
	-631,3	-632,9			
3	158,5	162,5	4,0		
	-638,5	-642,5			
4	173,8	175,0	1,2		
	-653,8	-655,0			
5	205,0	206,2	1,2		
	-685,0	-686,2			
СУММАРНАЯ МОЩНОСТЬ			10,0		

По данным бурения 2021–2022 гг. скважин на глубину до -820 м абс. в западном рудном теле установлено наличие зон разуплотнения, заполненных рассолом и галогенными породами, характеризующихся крайне высокими фильтрационными параметрами. При вскрытии рассматриваемых зон, зачастую (в 70 % наблюдений) наблюдался самоизлив рассолов (рис. 3.13).

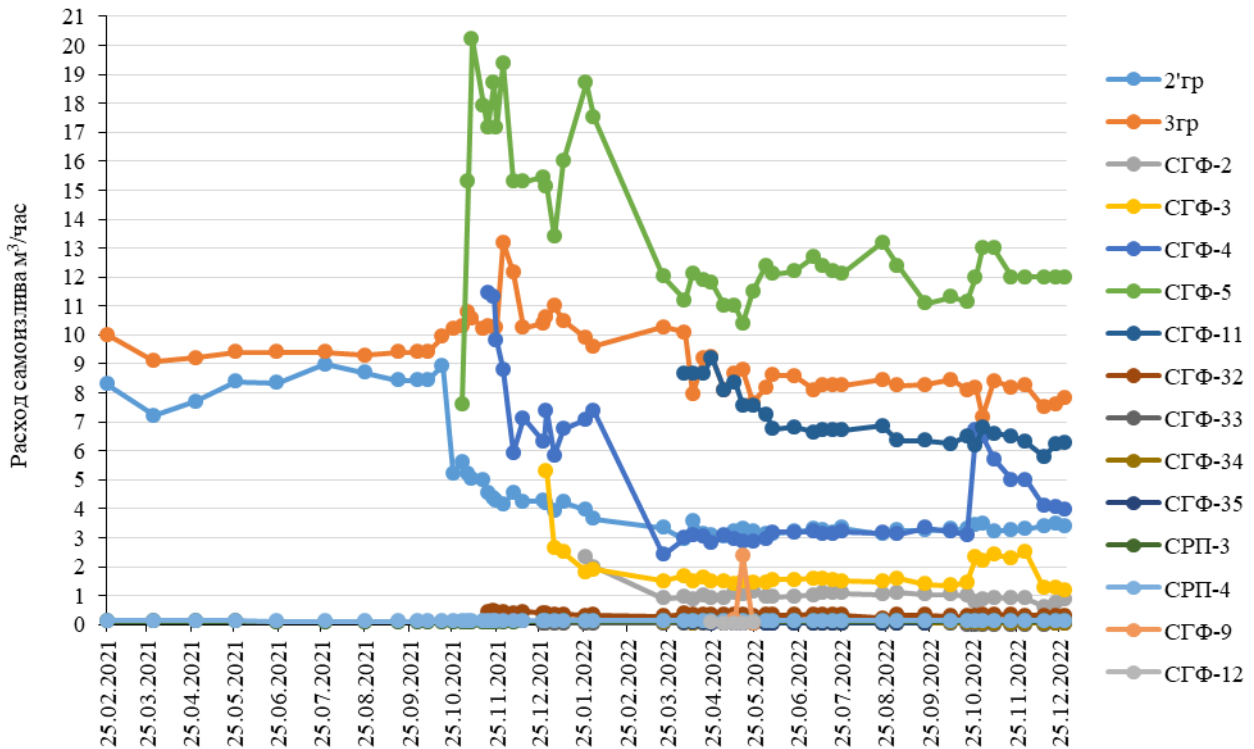


Рис. 3.13 Динамика изменения самоизлива по скважинам.

По результатам проведения комплексных исследований были сделаны следующие выводы:

- из 73 опытных скважин скважины № 21 (ЭРР №3), 4.1(ЭРР №2), 6 (ЭРР №2), 8 (ЭРР №2), 9.1 (ЭРР №2), 13 (ЭРР №2), 3.1 (ЭРР №1), 3.2 (ЭРР №1), 5'гр, 5гр и ИС-3 были пройдены по кимберлитам, вскрыли зоны разуплотнений, и по ним в последующем наблюдался самоизлив природных рассолов. На конец 2022 г. самоизлив сохранялся только по скважинам 5'гр и 5гр;

- скважины № 16 (ЭРР №2), 16.1 (ЭРР №2), 16.2 (ЭРР №2), 17 (ЭРР №2), СГФ-6, СГФ-7, СГФ-8, СГФ-13, СГФ-14, СГФ-15, СГФ-18, СГФ-19 и СГФ-20 пройдены по кимберлитам и зонам эндо- и экзоконтактов и вскрыли зоны разуплотнений, излива рассолов по данным скважинам не фиксировалось;

- скважины № 18 (ЭРР №3), 19 (ЭРР №3), 20 (ЭРР №3), 22 (ЭРР №3), 23 (ЭРР №3), 24.1 (ЭРР №3), 24 (ЭРР №3), 25 (ЭРР №4), 26 (ЭРР №4), 27 (ЭРР №4), 28.1(ЭРР №4), 28 (ЭРР №4), 31 (ЭРР №4), 33 (ЭРР №4), 34 (ЭРР №4), 36 (ЭРР №4), 37 (ЭРР №4), 5 (ЭРР №2), 7 (ЭРР №2), 9 (ЭРР №2), 10 (ЭРР №2), 12 (ЭРР №2), 38 (ЭРР №5), 42 (ЭРР №5), СГФ-12, СГФ-16, СГФ-22, СГФ-23 и СГФ-24

пройденны по плотным кимберлитам, без вскрытия зон разуплотнения. Из 31 скважины данной группы излив природных рассолов фиксировался по 15 (№ 18, 19, 24.1, 31, 34, 5, 7, 9, 10, 12, 38, 42, 4, 3, СГФ-16). По состоянию на декабрь 2022 излив не прекратился только по скважинам № 5 (ЭРР №2), 10 (ЭРР №2) и СГФ-16;

- скважины № 2'гр, ЗГР, СРП-3, СРП-4, СГФ-5, СГФ-4, СГФ-3, СГФ-2, СГФ-9, СГФ-10, СГФ-11, СГФ-17, СГФ-31, СГФ-32, СГФ-33, СГФ-34 и СГФ-35 пройденны по вмещающим породам, полости не вскрыли. По всем скважинам, пройденным по вмещающим породам, фиксировались периоды излива природных рассолов. По состоянию на декабрь 2022 г. самоизлив прекратился по скважинам № СГФ-9 и СГФ-35;

- из 17 скважин, пробуренных по вмещающим породам, только по четырём не было зафиксировано самоизлива, однако, скважины были обводнены, уровень вод находился на глубинах 3 м от устья.

Всего в период с февраля 2021 по декабрь 2022 г. из коллекторов среднекембрийского водоносного комплекса в зоне динамического воздействия ЗРТ (в том числе эндо- и экзоконтактов) было выпущено за счет самоизливающихся скважин ~ 516,3 тыс. м³ природных рассолов. В процессе выпуска вод снижение расходов по скважинам составило от 20 до 70 %. В целом по сети опытных скважин наблюдается сработка емкостных запасов, и как следствие уменьшение расходов. Тот факт, что свыше 70 % от объема выпущенных рассолов приходится на коллекторы СВК, на данном этапе исследований является косвенным подтверждением предположения, что обводнение системы зон разуплотнений произошло под внешним влиянием именно коллекторов СВК, так как в текущих условиях прямая гидравлическая связь с коллекторами НВК не подтверждена.

Как было отмечено ранее, на скважины, пробуренные по кимберлиту и не вскрывших зоны разуплотнений, приходится порядка 4 % от суммарного объема излившихся рассолов. В абсолютном отношении это составляет ~ 25,2 тыс. м³. Такая существенная разница в обводнённости свидетельствует о существенной плановой неоднородности распределения параметра водопроницаемости в ЗРТ, подтверждённой проведенными опытно-фильтрационными работами. Графическое отображение динамики изменения расходов по скважинам, вскрывшим зоны разуплотнения, приведено на рисунке 3.14, сопоставление объема излившихся рассолов на рисунке 3.15.

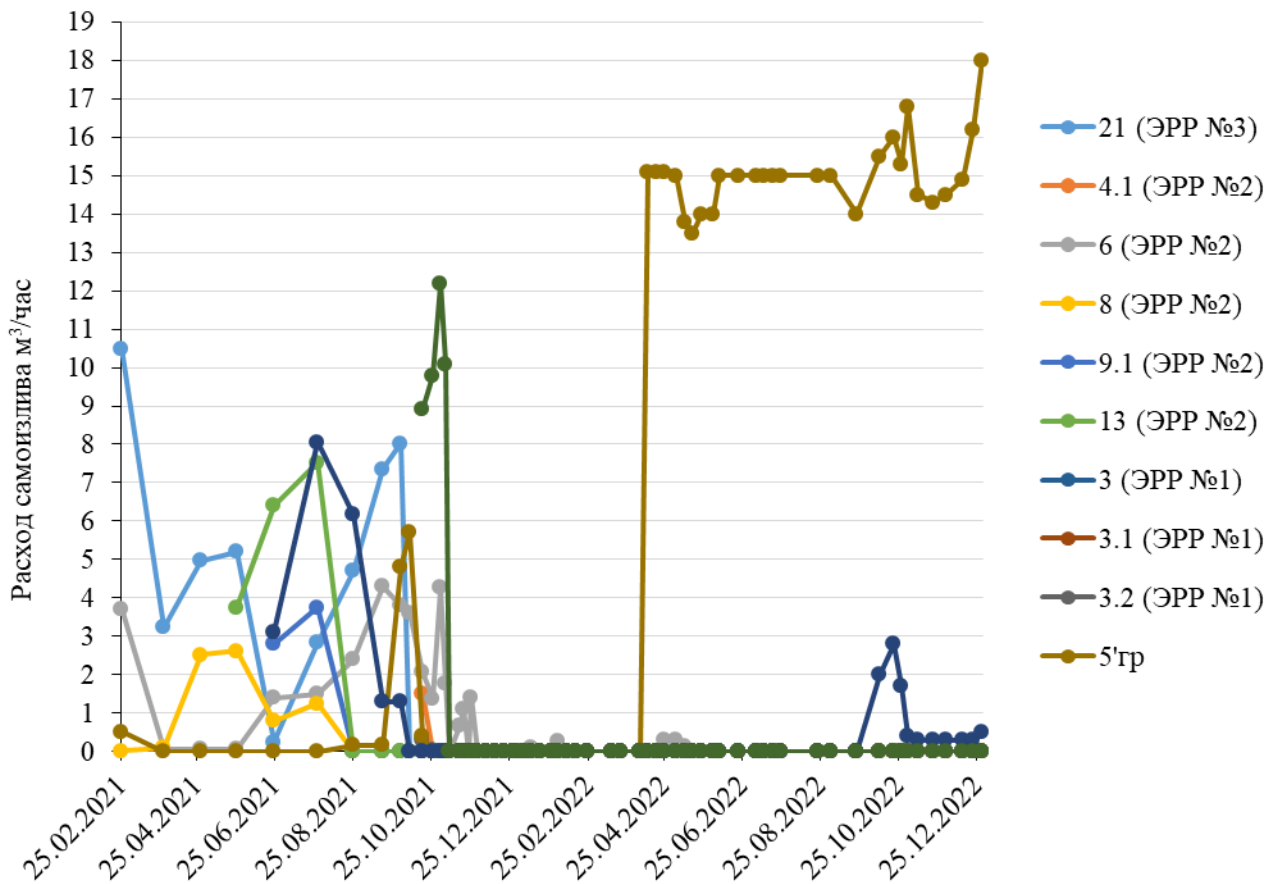


Рис. 3.14 Динамика изменения самоизлива по скважинам, вскрывшим зоны разуплотнения в ЗРТ.

Динамика выпуска природных рассолов подтверждает блоковое строение месторождения и существенное изменение водопроницаемости коллекторов СВК и кимберлитов ЗРТ как в плане, так и в разрезе. В качестве подтверждения служит режим скважины 3гр, а также режим самоизлива пробуренных ранее в зоне динамического воздействия ВРТ скважин СРП-3 и СРП-4. Влияние текущего водопонижения на данные скважины крайне незначительно, что позволяет утверждать, что в настоящее время срабатываются емкостные запасы коллекторов СВК в зоне динамического воздействия ЗРТ. Значительного площадного влияния от опытных скважин в настоящее время не прослежено. Анализ кривых изменения дебита при постоянном напоре от времени позволяет говорить об отсутствии стационарного режима фильтрации. Так как текущие перепады и изменения расходов свидетельствуют о нестационарном режиме фильтрации.

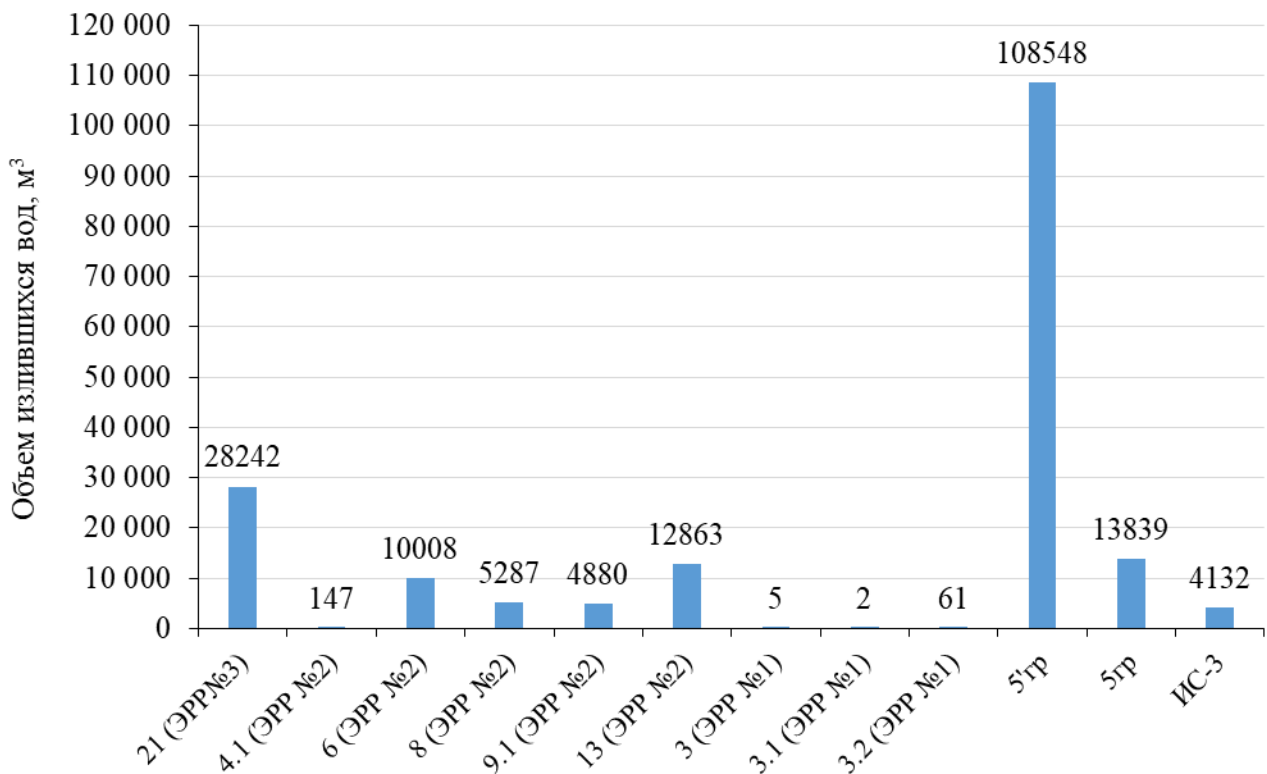


Рис. 3.15 Распределение объёма излившихся рассолов по скважинам, вскрывшим зоны разуплотнения в ЗРТ.

Для определения ёмкостных параметров выявленных зон разуплотнения были выполнены опытно-фильтрационные работы (кустовые наливов и откачки).

Налив выполнялся по схеме: одной возмущающей скважины и 4 наблюдательных. В качестве закачной скважины была определена СГФ-33, а наблюдательных – СГФ-18, СГФ-24, СГФ-32, СГФ-34. Опыт был проведён с 21.06.2022 по 04.07.2022 в прерывистом «рваном» режиме из-за невозможности обеспечения необходимого давления на устье закачной скважины. Всего за 120 часов налива было закачено 40,5 м³, со средним дебитом 0,3 м³/час. Давление на устье закачной скважины составляло от 7,8 до 8,3 кгс/см² (рис. 3.16), то есть при расходе 0,3 м³/час, подъём уровня по центральной (возмущающей) скважине составил ~ 80 м (в приведённых уровнях). По результатам, полученным в ходе проведения опытного налива, справедливо сделать следующие выводы:

- опробованная блок-зона расположения опытных и наблюдательных скважин характеризуется напорным режимом фильтрации и достаточно высоким коэффициентом пьезопроводности, достигающим 10^5 - 10^6 м²/сут. Необходимо отметить, что данный параметр является нормальным для рассматриваемых условий;

- величина расчётного коэффициента водопроводности ~ 0,3 м²/сут позволяет говорить о достаточно высокой экранированности зон разуплотнения с южного фланга ЗРТ. Однако невысокий коэффициент водопроводности в

данном случае с одной стороны указывает на незначительные притоки из СВК, а с другой стороны препятствует количественному определению ёмкостных свойств зон разуплотнения, что требует проведения откачки;

- характер изменения гидростатического давления по наблюдательным скважинам подтвердил блоковое строение изучаемой зоны динамического воздействия ЗРТ, а также указал на существенную неоднородность фильтрационных параметров в пристволовой зоне каждой скважины.

Откачка №1 выполнялась по схеме: одной возмущающей скважины и 3 наблюдательных. В качестве водопонижающей скважины была определена СГФ-№8, а наблюдательных – СГФ-№9, СГФ-№18, и №7ЭРР-2.

Опыт был проведён с 16.09.2022 по 22.09.2022. Всего за 120 часов откачки было откачено 500 м³, со средним дебитом 4,0 м³/час. Понижение по центральной скважине составило ~ 0,4 м. Минерализация откачиваемых вод в процессе опыта не изменялась.

Для определения основных фильтрационных параметров были выбраны результаты наблюдений по скважинам СГФ №9 и СГФ №18, так как данные скважины являются совершенными по степени вскрытия относительно изучаемого объекта и расположены в 30 м (СГФ №9), 150 м (СГФ №18) от центральной скважины. Рассмотрим гидродинамический режим данных скважин в различные периоды наблюдений.

До начала опытной откачки по данным скважинам наблюдалось цикличное колебание уровня, по всей видимости, связанное с особенностями фильтрации природных рассолов по системе разуплотнения (рис. 3.16).

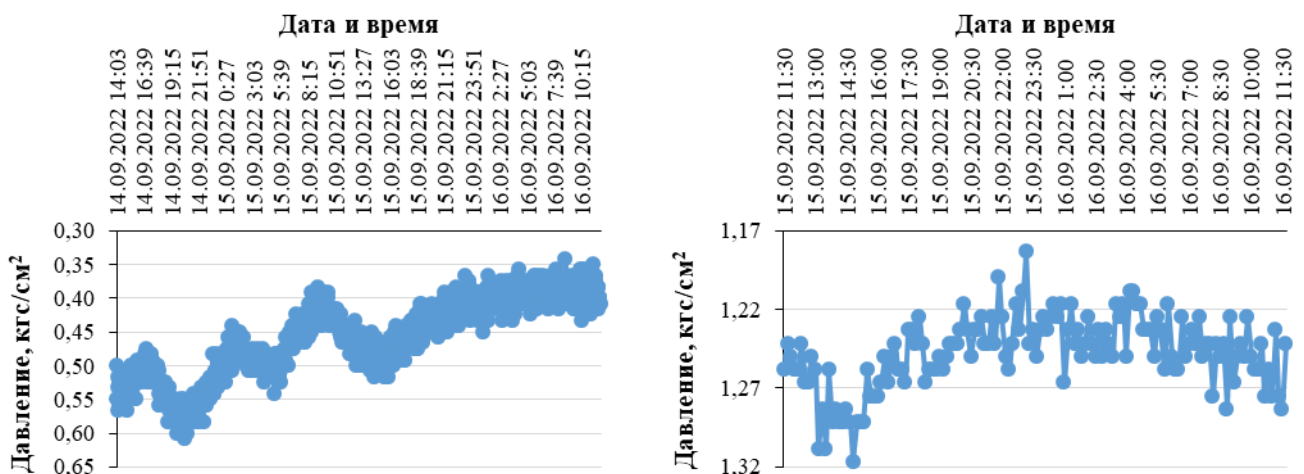


Рис. 3.16 Динамика изменения уровня в наблюдательных скважинах до проведения откачки (сверху СГФ №9; снизу СГФ №18).

Как видно из представленных графиков изменение уровня происходило циклично и составляло то 0,1 до 0,2 м.

В процессе проведения откачки по наблюдательным скважинам был зафиксирован период понижения уровней, составляющий порядка 0,3–0,4 м (рис. 3.17).

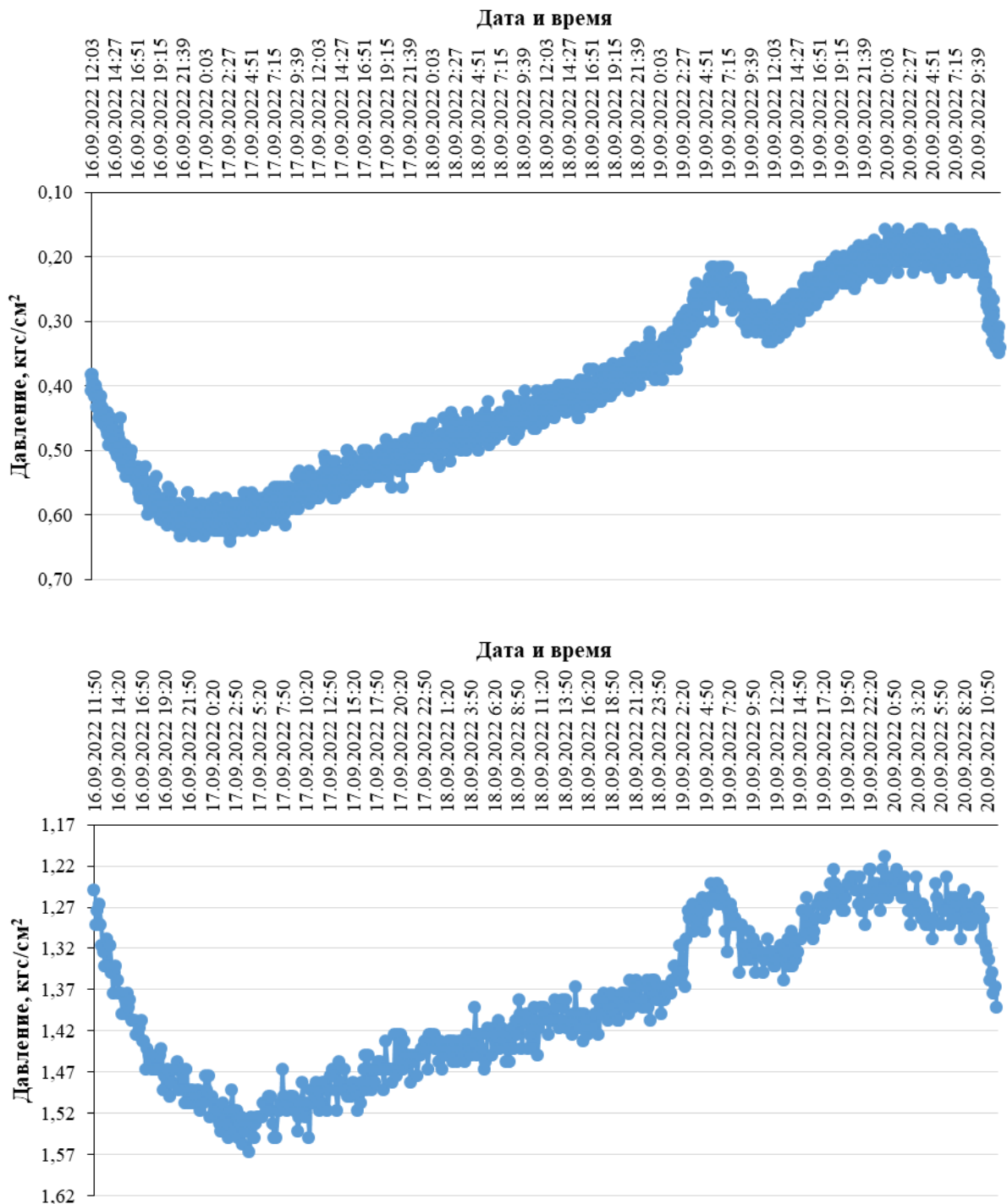


Рис. 3.17 Динамика изменения уровня в наблюдательных скважинах в процессе проведения откачки (сверху СГФ №9; снизу СГФ №18).

Динамика изменения уровней по наблюдательным скважинам в процессе восстановления приведена на рисунке 3.18.

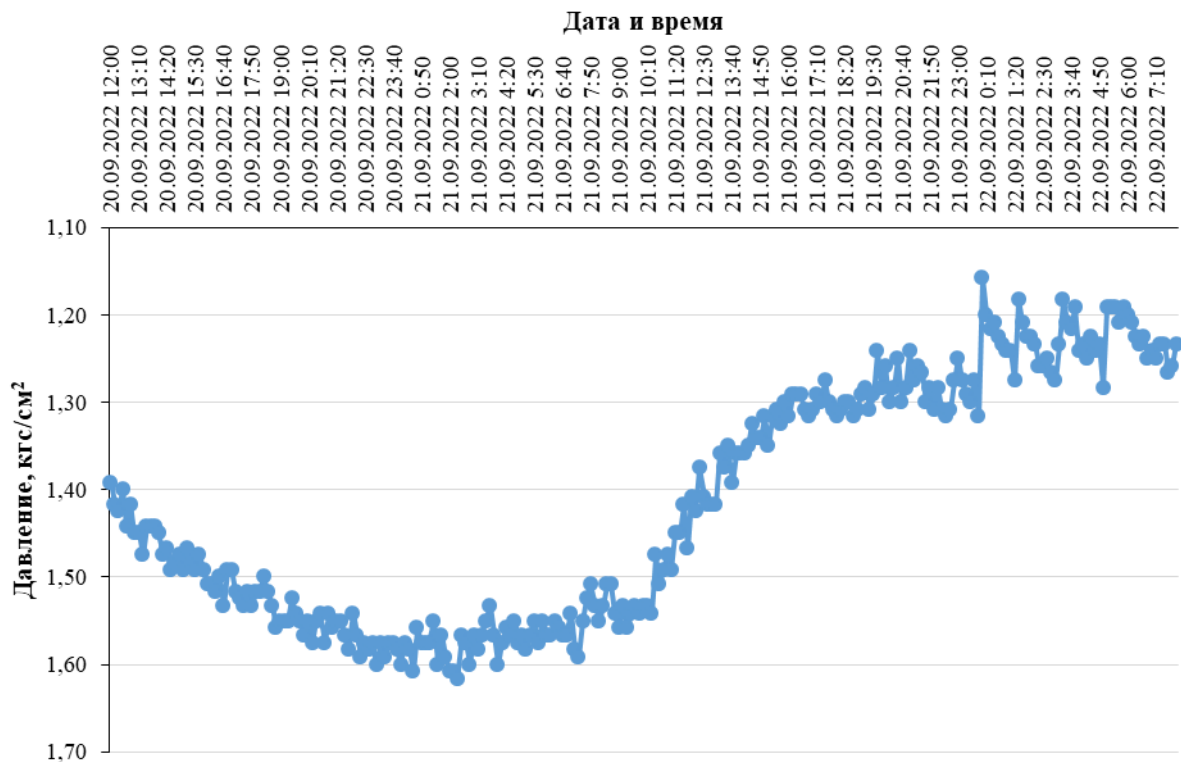
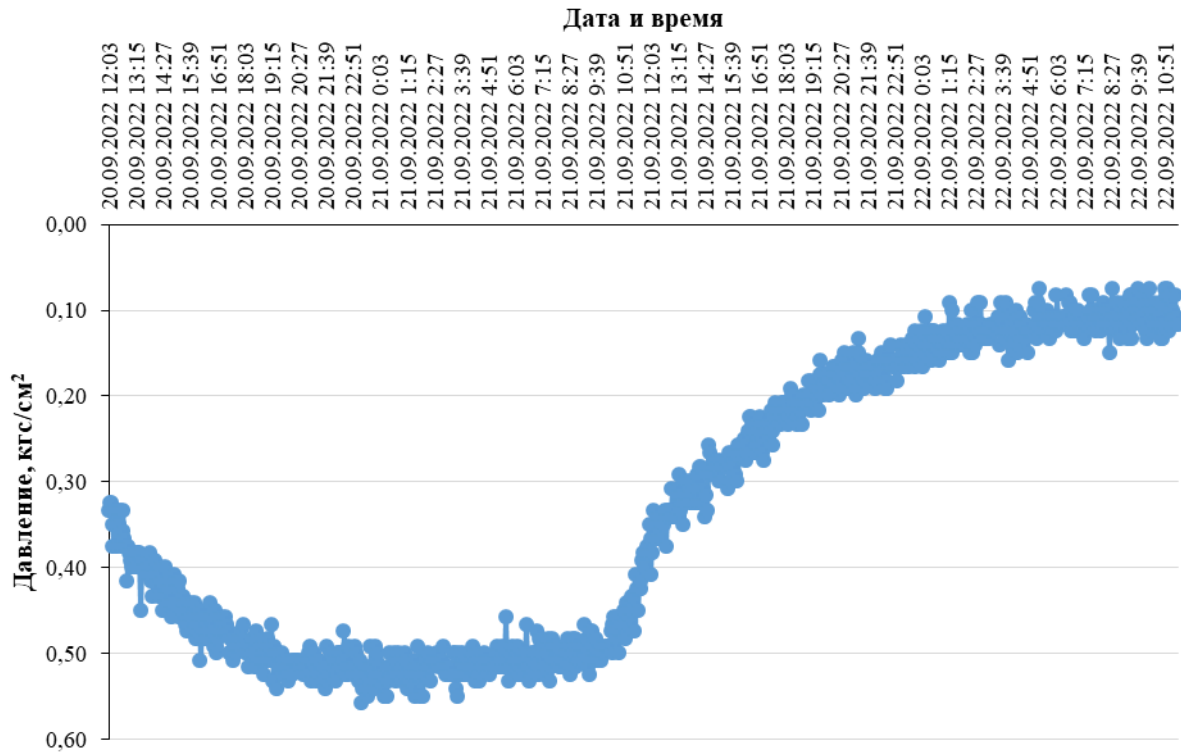


Рис. 3.18 Динамика изменения уровня в наблюдательных скважинах после проведения откачки (сверху СГФ №9; снизу СГФ №18).

По результатам, полученным в ходе проведения ОФР справедливо сделать следующие выводы:

- опробованная блок-зона расположения опытных и наблюдательных скважин характеризуется напорным режимом фильтрации, и достаточно высоким коэффициентом пьезопроводности, составляющим от $0,5 \times 10^6$ м²/сут до $0,9 \times 10^6$ м²/сут. Необходимо отметить, что данный параметр является нормальным для рассматриваемых условий;

- величина расчётного коэффициента водопроницаемости \sim от 119 до 241 м²/сут, позволяет говорить о высоких фильтрационных параметрах опробуемой зоны.

Откачка №2 выполнялась по схеме: одной возмущающей скважины и 8 наблюдательных. В качестве водопонижающей скважины была определена СГФ-№1, а наблюдательных СГФ-№2, СГФ-№3, СГФ-№6, СГФ-№7, СГФ-№15, СГФ-№18, СГФ-№23 и СГФ-№24. Опыт был проведён с 22.12.2022 по 23.12.2022. Всего было откачено 131,7 м³, со средним дебитом 5,22 м³/час. Понижение уровня по центральной скважине составило \sim 1,2 м. Минерализация откачиваемых вод в процессе опыта не изменялась. Динамика изменения по наблюдательным скважинам, также как информация о расстоянии между возмущающей и наблюдательными скважинами приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6

Расстояние между эксплуатационной и наблюдательными скважинами и параметр изменения уровня (ΔS)

№ скважины	СГФ-№2	СГФ-№3	СГФ-№6	СГФ-№7	СГФ-№15	СГФ-№18	СГФ-№23	СГФ-№24
Расстояние до СГФ-№1, м	57	88	37	58	162	132	240	192
ΔS (изменение уровня), м	0,08	0,10	0,3	0,35	0,2	0,2	0,25	0,15

Характеристические диаграммы динамики изменения уровней по наблюдательным скважинам в целом соответствуют приведенным ранее, полученным в процессе откачки №1.

Опробованная блок-зона расположения опытных и наблюдательных скважин характеризуется напорным режимом фильтрации, и достаточно высоким коэффициентом пьезопроводности, составляющим от $0,21 \times 10^6$ м²/сут до $7,1 \times 10^6$ м²/сут. Величина расчётного коэффициента водопроницаемости \sim от 34 до 430 м²/сут, позволяет говорить о высоких фильтрационных параметрах опробуемой зоны.

Откачка №3 выполнялась по схеме: одной возмущающей скважины и 3 наблюдательных. В качестве водопонижающей скважины была определена СГФ-№16, а наблюдательных – СГФ-№9, СГФ-№14 и СГФ-№17. Опыт был проведён с 17.11.2022 по 18.11.2022. Всего было откачено 137 м³, со средним дебитом 5,71 м³/час. Понижение уровня по центральной скважине составило \sim 0,6 м.

Динамика изменения по наблюдательным скважинам, также как информация о расстоянии между возмущающей и наблюдательными скважинами приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7

Расстояние между эксплуатационной и наблюдательными скважинами и параметр изменения уровня (ΔS)

№ скважины	СГФ-№9	СГФ-№14	СГФ-№17
Расстояние до СГФ-№16, м	74	104	95
ΔS (изменение уровня), м	0,25	0,25	0,0

Опробованный блок-зона расположения опытных и наблюдательных скважин характеризуется напорным режимом фильтрации, и достаточно высоким коэффициентом пьезопроводности, составляющим от $0,13 \times 10^6$ м²/сут до $5,6 \times 10^6$ м²/сут. Величина расчётного коэффициента водопроводимости ~ от 51 до 93 м²/сут, позволяет говорить о высоких фильтрационных параметрах опробуемой зоны.

Откачка №4 выполнялась по схеме: одной возмущающей скважины и 8 наблюдательных. В качестве водопонижающей скважины была определена СГФ-№23, а наблюдательных – СГФ-№9, СГФ-№16, СГФ-№19, №21, СГФ-№22, СГФ-№24, №28 и СГФ-№35. Опыт был проведён с 01.12.2022 по 02.12.2022. Всего было откачено 147 м³, со средним дебитом 6,12 м³/час. Понижение уровня по центральной скважине составило ~ 3,5 м. Динамика изменения по наблюдательным скважинам, также как информация о расстоянии между возмущающей и наблюдательными скважинами приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8

Расстояние между эксплуатационной и наблюдательными скважинами и параметр изменения уровня (ΔS)

№ скважины	СГФ-№9	СГФ-№16	СГФ-№19	№21	СГФ-№22	СГФ-№24	№28	СГФ-№35
Расстояние до СГФ-№23, м	120	47	193	56	40	205	70	112
ΔS (изменение уровня), м	0,15	0,4	0,2	0,3	0,15	0,15	0,5	0,25

Опробованная блок-зона расположения опытных и наблюдательных скважин характеризуется напорным режимом фильтрации, и достаточно высоким коэффициентом пьезопроводности, составляющим $0,3 \times 10^6$ м²/сут до $7,4 \times 10^6$ м²/сут. Величина расчётного коэффициента водопроводимости ~ от 70 до 375 м²/сут, позволяет говорить о высоких фильтрационных параметрах опробуемой зоны.

Полученные параметры по наблюдательным скважинам подтвердили блоковое строение изучаемой зоны динамического воздействия ЗРТ, а также

указывают на существенную неоднородность фильтрационных параметров в пристволовой зоне каждой скважины (подтверждённую ранее при проведении налива). Важным фактором, определяющим прогнозные притоки, является площадное распределение коэффициента водопроницаемости. В результате проведенных опытно-фильтрационных работ было установлено, что объект исследования характеризуется микроблочным строением, причём блоки между собой существенно отличаются по проницаемости: параметр коэффициента водопроницаемости составляет от 0,3 до 430 м²/сут; а коэффициент пьезопроводности от $0,5 \times 10^5$ до $9,9 \times 10^6$ м²/сут (табл. 3.9).

Таблица 3.9

Гидродинамические параметры, полученные по опытным скважинам

№ п/п	Скважина	Коэффициент водопроницаемости, КМ (м ² /сут)	Коэффициент пьезопроводности, а×(м ² /сут)	Примечание
1	СГФ-1	150	$0,7 \times 10^6$	
2	СГФ-2	327	$7,1 \times 10^6$	
3	СГФ-3	430	$6,7 \times 10^6$	
4	СГФ-6	56	$4,9 \times 10^6$	вскрыта полость
5	СГФ-7	49	$0,21 \times 10^6$	вскрыта полость
6	СГФ-8	360	$5,6 \times 10^6$	вскрыта полость
7	СГФ-9	241	$0,5 \times 10^6$	откачка из СГФ-8
8	СГФ-9	93	$5,6 \times 10^6$	откачка из СГФ-16
9	СГФ-9	70	$2,5 \times 10^6$	откачка из СГФ-23
10	СГФ-14	51	$0,13 \times 10^6$	вскрыта полость
11	СГФ-15	95	$9,9 \times 10^6$	
12	СГФ-16	75	$1,7 \times 10^6$	
13	СГФ-18	119	$0,9 \times 10^6$	вскрыта полость; откачка из СГФ-8
14	СГФ-18	34	$5,3 \times 10^6$	вскрыта полость; откачка из СГФ-1
15	СГФ-19	98	$7,5 \times 10^6$	вскрыта полость
16	СГФ-21	153	$2,3 \times 10^6$	
17	СГФ-22	375	$0,5 \times 10^6$	
18	СГФ-23	105	$0,33 \times 10^6$	
19	СГФ-24	101	$0,43 \times 10^6$	откачка СГФ-1
20	СГФ-24	137	$0,9 \times 10^6$	откачка СГФ-23
21	СГФ-28	94	$0,6 \times 10^6$	
22	СГФ-33	0,3	$0,5 \times 10^5$	
23	СГФ-35	172	$0,4 \times 10^6$	

В результате проведенной интерпретации была построена карта-схема блокового распределения водопроницаемости (рис. 3.19).

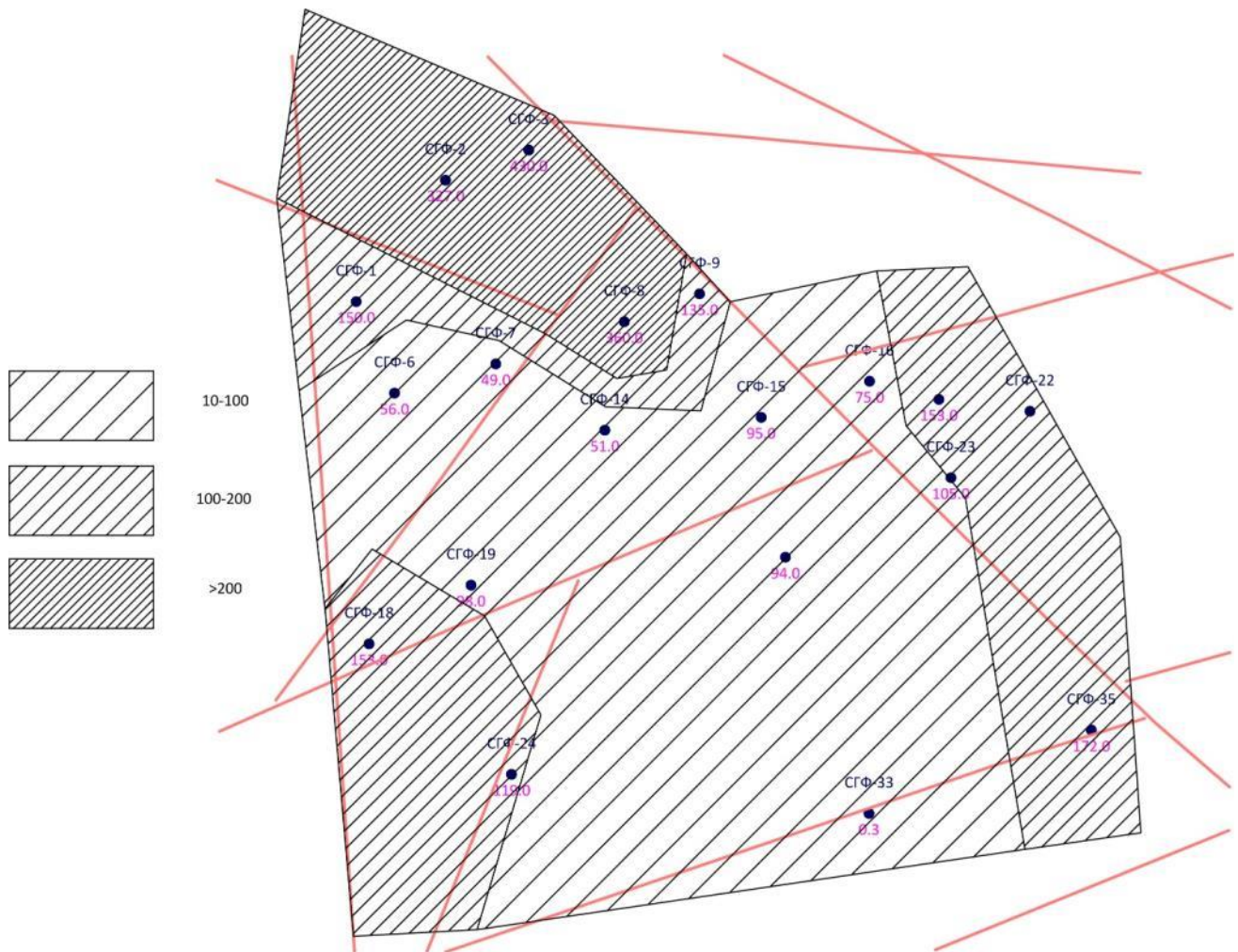


Рис. 3.19 Блоковое распределение водопроницаемости ($\text{м}^2/\text{сут}$), относительно зон разрывных нарушений и выявленных разуплотнений.

Плановое распределение коэффициента водопроницаемости, а также основных разрывных нарушений, приведено на рисунке 3.20.

Наиболее водопроницаемые блоки приурочены к зонам пересечения субмеридиональных (региональных) и субширотных (кимберлит контролирующих) разломов. Среди прочих выделяются зоны:

- расположения скважин СГФ-2 и СГФ-3 (северо-западный фланг ЗРТ, с величинами КМ $\sim 327\text{--}430 \text{ м}^2/\text{сут}$);
- расположения скважин СГФ-8 и СГФ-9 (северная часть ЗРТ, с величинами КМ $\sim 135\text{--}360 \text{ м}^2/\text{сут}$);
- расположения скважин СГФ-21 и СГФ-22 (восточная часть ЗРТ со стороны межтрубья, с величинами КМ $\sim 153\text{--}375 \text{ м}^2/\text{сут}$).

Остальное ЗРТ характеризуется параметрами КМ не превышающими $150 \text{ м}^2/\text{сут}$. Данный параметр является достаточно высоким и превышает изначально прогнозируемый (по данным предыдущих исследований) более чем в 10 раз.

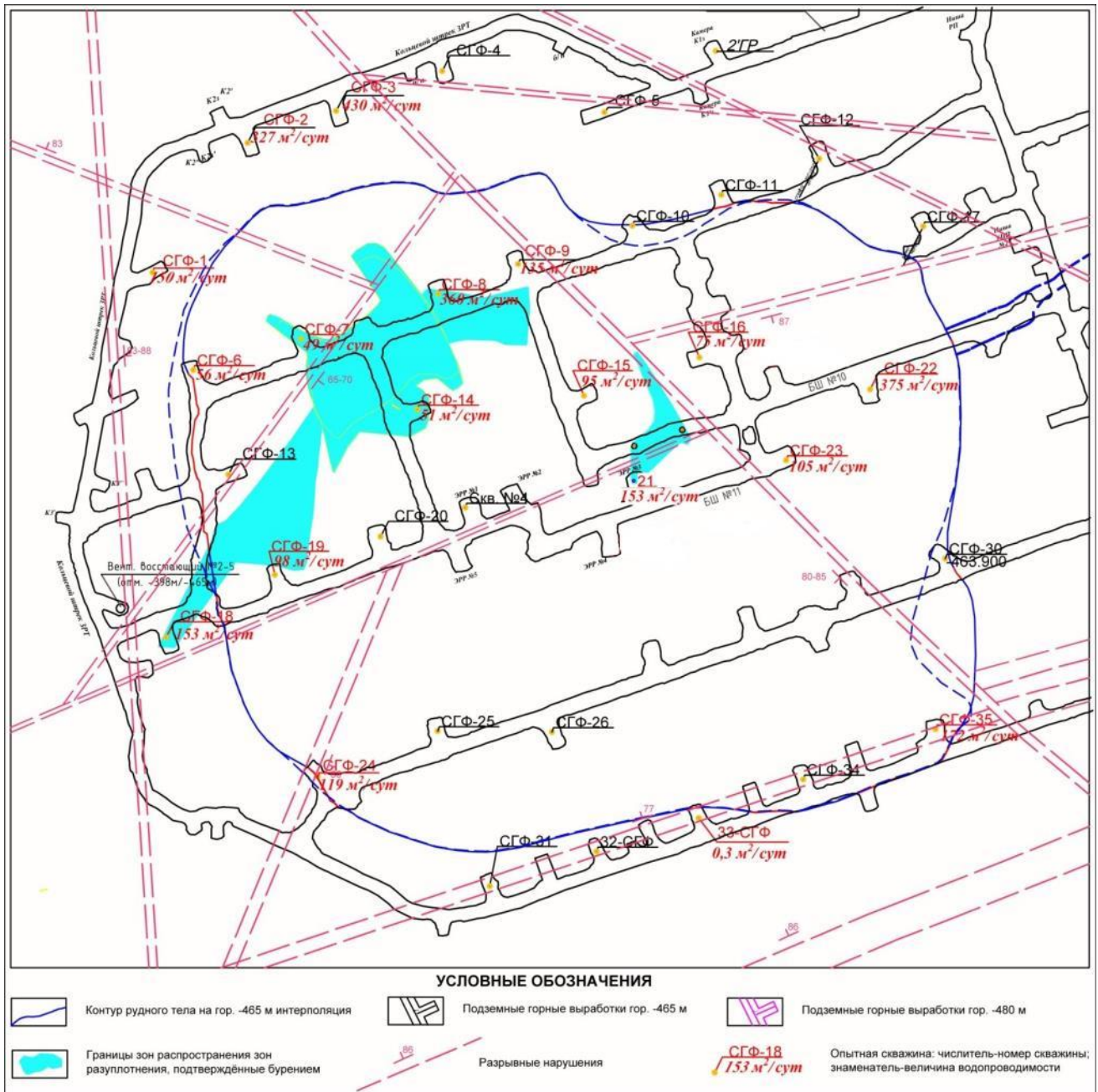


Рис. 3.20 Плановое распределение водопроводимости, относительно зон разрывных нарушений и выявленных разуплотнений.

На южном фланге ЗРТ в зоне расположения скважины СГФ-33 зафиксирован $КМ = 0,3 \text{ м}^2/\text{сут}$, соответствующий региональным значениям среднекембрийского водоносного комплекса на данных отметках.

Полученные вариации коэффициента водопроводимости были использованы для оценки емкостных запасов, выявленных в пределах ЗРТ зон неоднородности, а также определения расчётных параметров для системы опережающего водопонижения.

По данным режимных наблюдений в скважинах, оборудованных на среднекембрийский водоносный комплекс, под действием дренажа на руднике

«Удачный» происходит постепенное снижение уровня подземных вод в зависимости от расположения скважин относительно месторождения. Наиболее низкие положения уровня наблюдаются в скважинах 521, 602, 323, расположенных в пределах влияния полосы Далдынской флексуры. Скважина 521 также расположена в пределах влияния трещиноватой зоны, вскрытой в 2014 г. дренажными скважинами на северо-восточном фланге месторождения, приведшей к резкому понижению уровня.

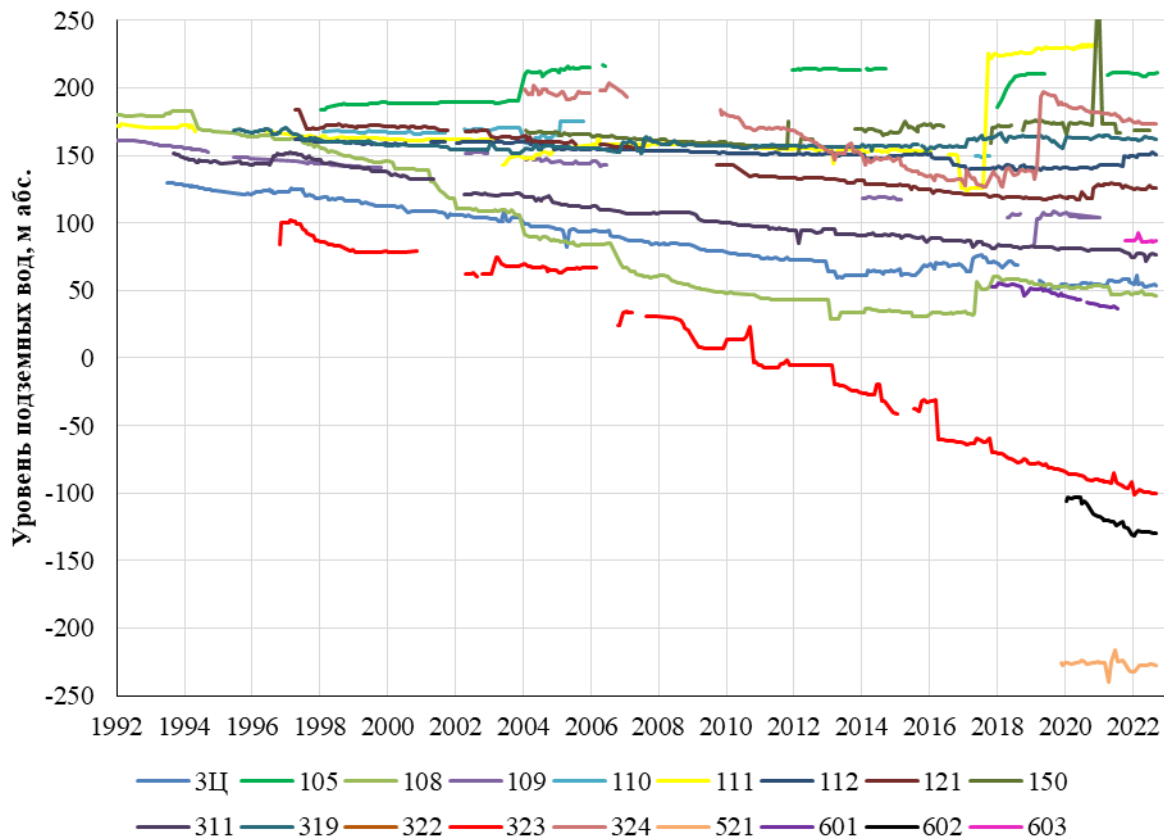


Рис. 3.21 Динамика уровня подземных вод среднекембрийского водоносного комплекса.

Притоки подземных вод в 2021–2022 гг. по данным Удачинского ГОКа в среднем составили 300–350 м³/ч. Анализ динамики распределения притоков по разным горизонтам показал, что притоки в карьер (условно, суммированы все притоки выше отметки -365 м абс.) изменяются от 13,2 до 102,3 м³/ч в зависимости от сезона, притоки к дренажному горизонту -365 м абс. составляют 6–7 м³/ч, к горизонту -465..-480 м абс. 180 м³/ч, к стволам 11–13 м³/ч. В пробуренных скважинах с горизонта -465 до -820 м абс. расход откачки увеличился от 36 м³/ч в 2021 г. до 55 м³/ч в 2022 г., увеличение связано с бурением новых скважин (рис. 3.22).

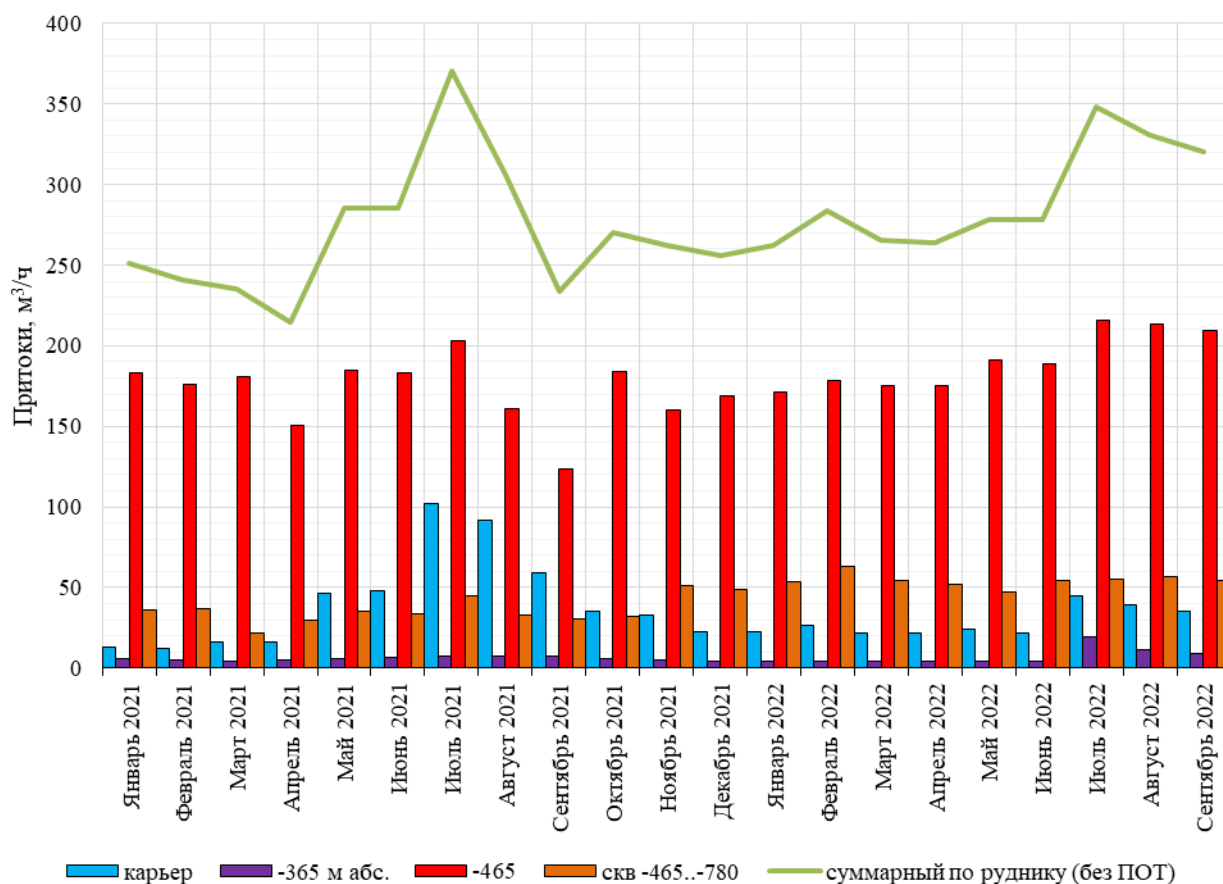


Рис. 3.22 Динамика притоков по горизонтам рудника «Удачный».

Многолетние наблюдения за уровнем режимом нижних интервалов среднекембрийского водоносного комплекса показали планомерное снижение пьезометрических уровней в скважинах при общем 400-метровом водопонижении в центре шахтного поля.

Подземные воды СВК представлены, главным образом, весьма крепкими хлоридными кальциевыми рассолами с минерализацией 300–400 г/дм³. Величина общей газонасыщенности подземных рассолов с углеводородным составом растворенных газов колеблется в широких пределах и может достигать 1,2 м³/м³.

Дальнейшая отработка месторождения приведет к полному вскрытию всех коллекторов СВК и росту притоков природных рассолов (табл. 3.10)

Таблица 3.10

Прогнозный приток подземных вод

№ п/п	Отметка дренажной системы, м абс.	Среднегодовой приток рассолов, м ³ /ч
1	-580	350
2	-680	470
3	-730	560
4	-780	575
5	-830	585

3.4.2. Гидрогеологическая характеристика нижнекембрийского водоносного комплекса

Нижнекембрийский водоносный комплекс (НВК) вскрыт вблизи месторождения ниже глубин 1350–1450 м и приурочен преимущественно к трещинно-кавернозным коллекторам в доломитах нижней части удачининской свиты ($C_{1-2} ud_1$), кремнистым пористо-кавернозным доломитам кумахской свиты ($C_1 km$) и водорослевым известнякам эмяксинской свиты. Кровлей водоносного горизонта являются органогенно-обломочные известняки удачининской свиты (отметки от –1100 абс. м), а подошвой – водорослевые известняки эмяксинской свиты ($C_1 em$) (отметки от –1330 до –1420 абс. м).

Гидравлическая связь с другими водоносными комплексами и обводненными зонами не изучена, однако она, вероятно, существует, что подтверждается близкими значениями уровней СВК и НВК на восточном борту карьера «Удачный» (скважина №520).

Суммарная эффективная мощность пластов-коллекторов достигает 178,4 м (табл. 3.11). Пьезометрический уровень в скважинах устанавливается на глубинах 200–227 м. В нижней части разреза до глубины 1600 м пластовые давления достигают 17,5 МПа.

Таблица 3.11

Характеристика коллекторов нижнекембрийского водоносного комплекса

№ скважин	Интервал Водоносного комплекса, от-до, м в абс. отметках	Общая мощность, м	Эффективная мощность, м	К общ (по ГИС), % <u>min-max</u> среднее	Примечание
<i>район трубки «Удачная»</i>					
308	<u>1428,2 - 1441,8</u> -1087,8/-1101,4	13,6	12,4	<u>4,0 - 6,0</u> 5	вскрыто не на полную мощность
310	<u>1457,8 - 1467,6</u> -1086,4/-1096,2)	9,8	9,8	14	
316	<u>1353,8 - 1356,4</u> -1060,4/-1063,0	2,6	2,6	10	
КСС -2	<u>1379,6 - 1468,7</u> -1030,6/-1119,7	89,1	16,8	<u>11,0 - 13,0</u> 12,0	
703	<u>1390,0 - 2167,0</u> -1063,3/-1840,3	659	107,2	<u>6,0 - 10,0</u> 8	

По результатам лабораторных исследований керн коэффициент пористости ($K_n^{общ}$) пород, слагающих коллекторы НВК в пределах Далдынской флексуры, варьирует в пределах 2,4–8,8 % при средней величине 3,97 %. В

районе трубки «Удачная» коэффициент пористости ($K_n^{общ}$) пород коллекторов НВК изменяется в пределах 0,25–5,36 % при средней величине 1,56 %.

Несмотря на невысокие величины коэффициента пористости, водоносный комплекс в районе месторождения характеризуется высокими фильтрационными свойствами за счёт трещиноватости пород, слагающих коллекторы НВК. Коэффициент водопроницаемости до 50–60 м²/сут.

Динамика уровня подземных вод по данным режимных наблюдений за 2011–2022 гг. представлена на рисунке 3.23. За десятилетний период в скважинах 519, 122 были только небольшие колебания в пределах 170–175 м абс., снижение уровня до отметки 136 м абс. связано с чисткой скважины, в дальнейшем происходит восстановление уровня. В скважине 2531 проводятся опытные закачки с 2017 г., что сказывается на повышении уровня до отметки 320 м абс. Уровень в скважине 520 намного ниже чем в остальных, что может быть следствием, как технического состояния, так и имеющейся связи между СВК и НВК.

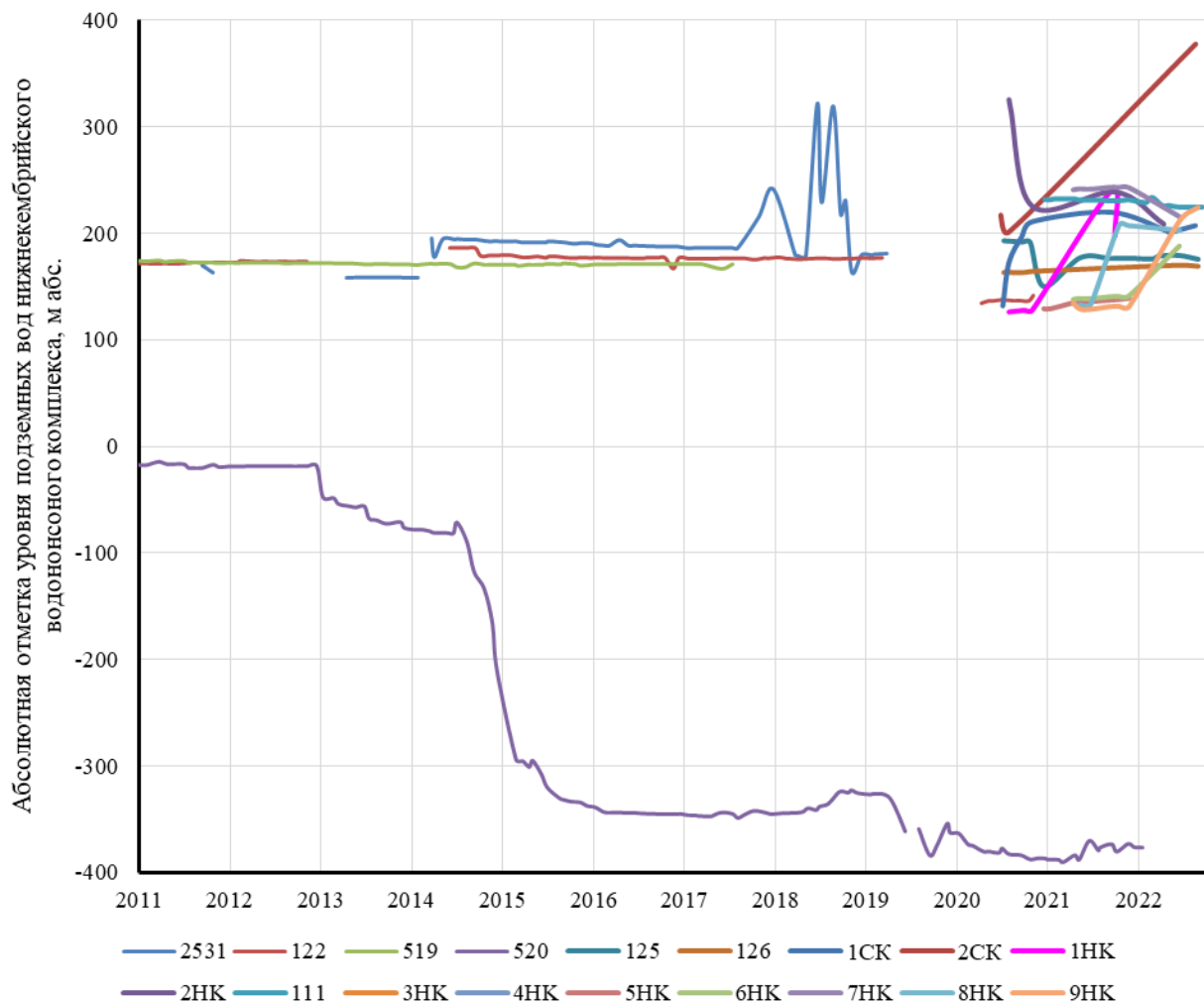


Рис. 3.23 Динамика уровня подземных вод нижнекембрийского водоносного комплекса.

О связи между среднекембрийским и нижнекембрийским водоносными комплексами можно судить по следующим фактам:

1. Вскрытие в северо-восточной части рудника трещиноватой зоны на горизонте -365 м абс. в 2014 г. привело к резкому снижению уровня в наблюдательной скважине 520, оборудованной на нижнекембрийский водоносный комплекс, в то время как в других скважинах на НВК уровень подземных вод существенно не изменился.

2. Закачка в нижнекембрийский водоносный комплекс при проведении ОФР на участках не привела к заметному изменению уровня в среднекембрийском водоносном комплексе, что говорит об отсутствии прямой связи между водоносными комплексами.

3. Начало опытных закачек в нижнекембрийский водоносный комплекс не привело к заметному увеличению притоков природных рассолов к дренажной системе рудника, как в годовом масштабе, так и по данным месячных объемов откачки (рис. 3.24).

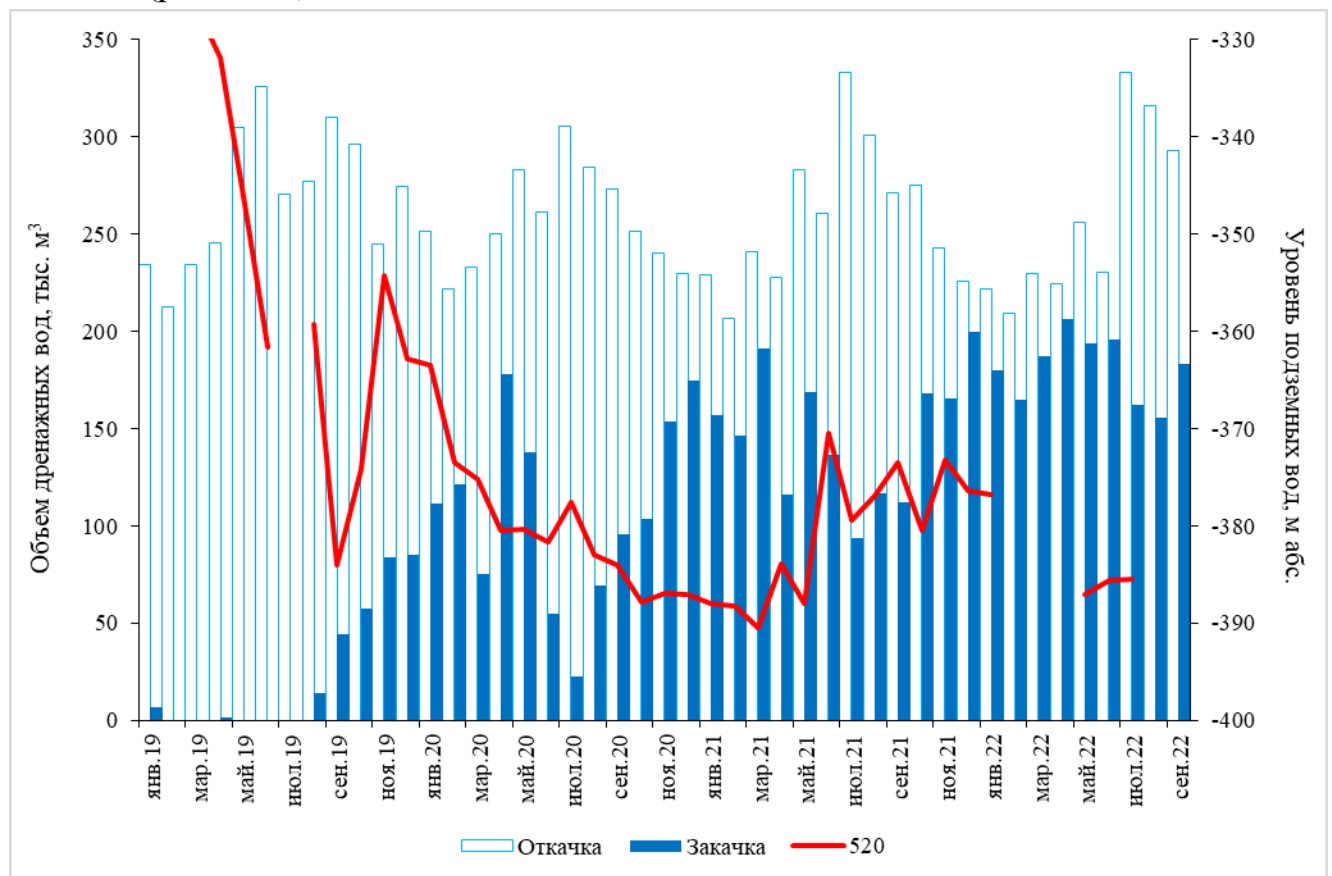


Рис. 3.24 Баланс откачки из среднекембрийского водоносного комплекса и закачки в нижнекембрийский водоносный комплекс.

4. В результате опытных закачек произошла стабилизация и некоторое повышение уровня подземных вод в скважине 520 в 2021 г. Непосредственного влияния выпусков из скважин на уровень нижнекембрийского водоносного

комплекса в настоящий момент не зафиксировано. Пьезометрическая поверхность нижнекембрийского водоносного комплекса приведена на рисунках 3.25–3.26.

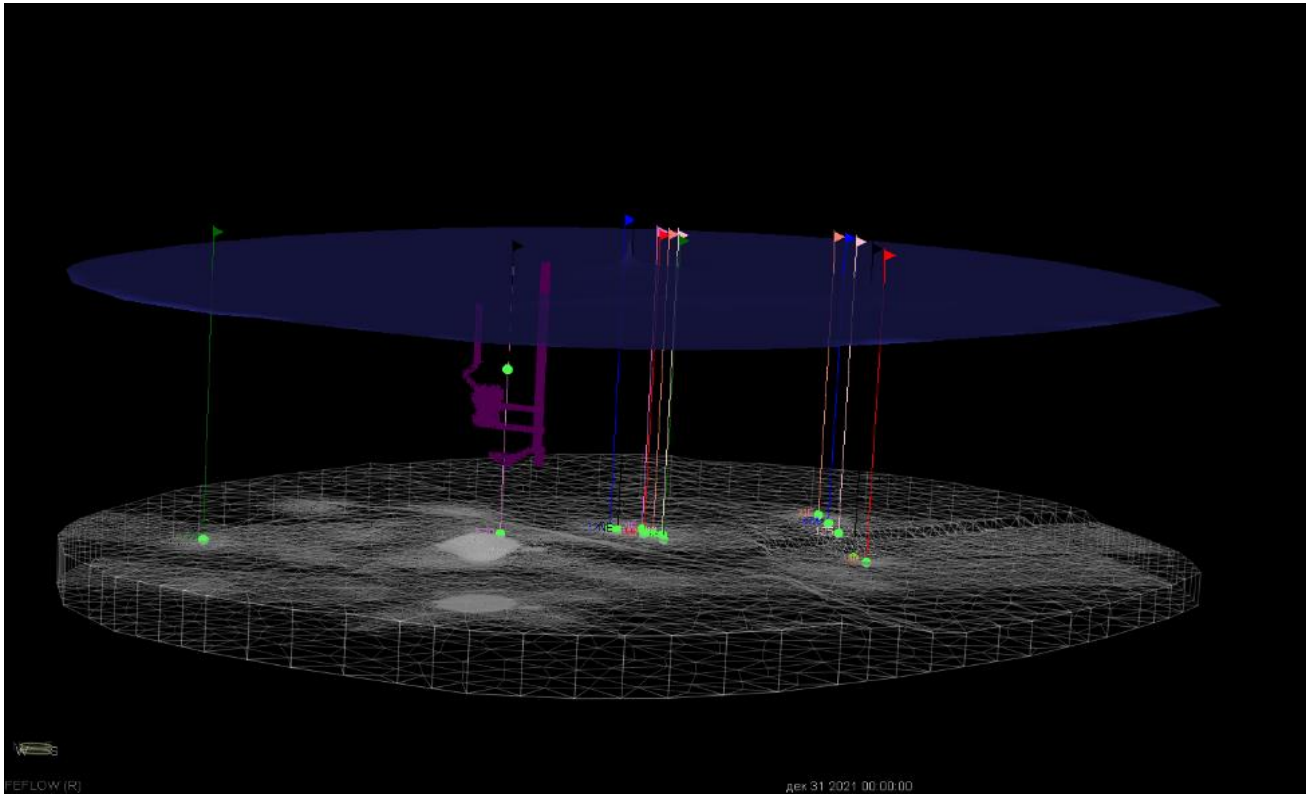


Рис. 3.25 Положение поверхности уровня подземных вод НВК на конец 2022 г

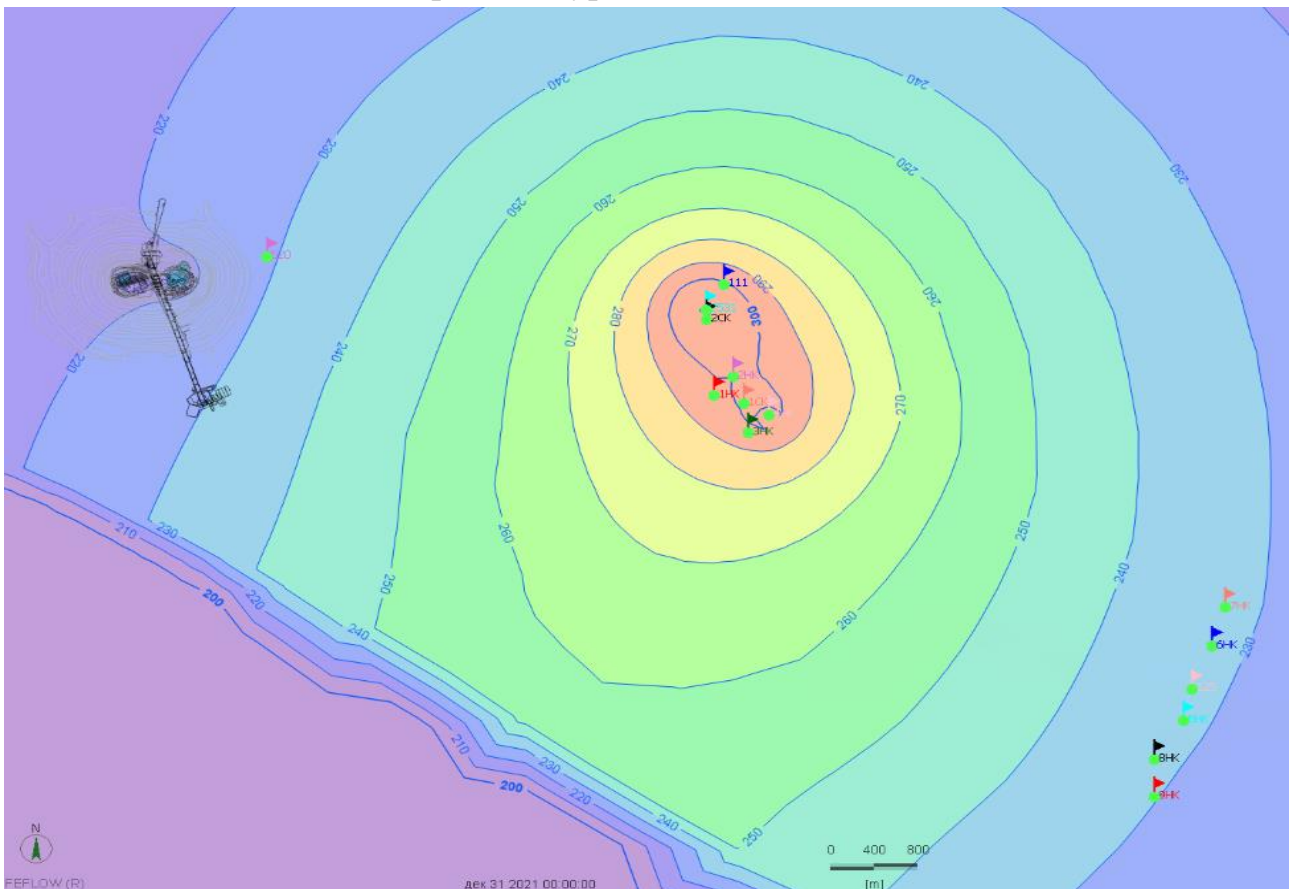


Рис. 3.26 Карта изопьез НВК на конец 2022 г.

Воды комплекса представлены крепкими рассолами хлоридного кальциевого состава с минерализацией до 400–420 г/дм³, содержат до 0,9 м³/м³ растворенных азотно-углеводородных и углеводородных газов.

Изучение горного массива места строительства шахтных стволов по скважинам КСС-1 и КСС-2 показало отсутствие выдержанных пластов-коллекторов, выделяемых по ГИС, даже на локальном участке. При расстоянии между скважинами в 100 м характеристики пластов-коллекторов (количество, мощность, глубины распространения, коллекторские свойства) в свитах существенно варьируют от скважины к скважине. Дизъюнктивные деформации, пронизывающие толщи пород, соединяют водонасыщенные пласты в единую гидравлическую систему, однако, спрогнозировать ее весьма сложно - на характер проявления дизъюнктивов в рудных телах, и во вмещающих породах (на степень их раскрытости, проницаемость по вертикали и в плане) влияли очень многие факторы (кальцитизация, сульфитизация, гипсование и др.).

В пределах межрифовой зоны наиболее высокими показателями фильтрационно-емкостных свойств обладают породы лагунно-сабкховой пачки (Є_{2lg}), нижней доломитизированной части удачинской свиты (Є_{1ud1}) и эмьяксинской свиты (Є_{1em}). Наиболее низкие, практически водоупорные показатели, характерны для биогермных построек, манькайской и старореченской свит. Кроме этого, межрифовая зона вблизи трубки «Удачная» характеризуется наличием в разрезе лагунно-сабкховой пачки полосообразной гидрогеологической структуры с повышенными показателями коллекторских свойств. Это, вероятно, связано с генезисом осадков и мощностью карбонатно-баровых отложений, величина которых изменяется с удалением от фронта рифового обрамления карбонатной платформы, в тыловую зарифового и лагунную область.

По комплексу гидрогеохимических признаков рассолы глубоких горизонтов трубки «Удачная» относятся к метаморфизованным и имеют аналоги на всей Сибирской платформе [Алексеев, 1984; Алексеев и др., 2000, 2000б].

3.4.3. Гидрогеологическая характеристика обводнённых зон кимберлитов

В разрезе кимберлитовой трубки «Удачная» выделяют несколько локальных обводнённых зон, обусловленных структурно-литологическими и тектоническими особенностями строения месторождения. В настоящее время обводнённые зоны кимберлитов известны в рамках обоих кимберлитовых тел.

Первая (верхняя) водоносная зона была приурочена к подошве экзогенной трещиноватости кимберлитов и по мере отработки месторождения осушена. Кровля водонасыщенных пород располагалась на отметках: +100...+144 (западное рудное тело – ЗРТ) и +100...+152 абс. м (восточное рудное тело – ВРТ). В центральной части восточного тела обводнённые кимберлиты отсутствовали. Мощность водоносной зоны невелика и в среднем составляет 5–10 м.

Фильтрационные параметры кимберлитов довольно изменчивы, водопроницаемость варьируется от 1–2 до 70 м²/сут, и всегда превышают аналогичные показатели вмещающих пород. Пьезометрический уровень водоносных зон устанавливался на тех же отметках, что и уровень верхнекембрийского водоносного комплекса. По данным опытно-фильтрационных работ не было выявлено прямой гидравлической связи между первыми водоносными зонами рудных тел, хотя общая продолжительность опытных откачек достигала нескольких месяцев. В то же время связь между обводнёнными зонами рудных тел и водонасыщенными породами вмещающих осадочных толщ существует, хотя и затруднённая.

По химическому составу воды первой водоносной зоны кимберлитов представлены хлоридными кальциевыми рассолами с минерализацией до 91 г/дм³. Среди микрокомпонентов в заметных количествах присутствуют бром, бор, рубидий, стронций, литий. Рассолы газонасыщены, газовый фактор достигает до 0,2 м³/м³.

Вторая обводнённая зона в кимберлитовых телах выявлена с интервала глубин от 350 (восточное тело) до 630 м (западное тело), что соответствует абсолютным отметкам 0...–280 м. Водонасыщенные кимберлиты рудных тел различаются по глубинам распространения, фильтрационным параметрам и химическому составу рассолов. Водонасыщенная зона западного тела по фильтрационным свойствам характеризуется малой водообильностью и низкими значениями гидродинамических параметров. Коэффициент водопроницаемости составляет 2–5 м²/сут. По химическому составу распространённые в зоне воды представлены хлоридными кальциевыми рассолами с минерализацией до 323 г/дм³. В восточном рудном теле кровля этой зоны имеет куполообразное поднятие, что на 200–250 м в апикальной

части превышает положение кровли западного тела и вмещающих осадочных пород. В настоящее время она вскрыта карьером.

Пористо-кавернозные кимберлиты второго и третьего типов, слагающие этот участок рудного тела, характеризуются высокими фильтрационными свойствами. По результатам опытных откачек водопроницаемость $40 \text{ м}^2/\text{сут}$, а коэффициент пьезопроводности $10^5 \text{ м}^2/\text{сут}$. Фильтрационные параметры этой зоны по своим значениям сопоставимы с аналогичными параметрами вышеописанной «пласта-полосы» в составе среднекембрийского водоносного комплекса, а между ними установлена прямая гидравлическая связь.

Химический состав рассолов второй водоносной зоны в восточном теле имел аномальный хлоридный натриевый состав с минерализацией $322 \text{ г}/\text{дм}^3$.

Кимберлитовые тела непосредственно контактируют с водовмещающими коллекторами среднекембрийского водоносного комплекса, и поэтому водообильность кимберлитов полностью зависит от соответствующих параметров интервалов данного комплекса. Пьезометрический уровень второй обводненной зоны имеет единую поверхность с пьезометрическим уровнем среднекембрийского водоносного комплекса.

Доизучение гидрогеологических условий, а именно выделение зон повышенной обводнённости кимберлитов, было выполнено в отм. -465/-785 м по скважинам №№ СГК-1, СРП-5 и 4гр. Корреляционная схема приведена на рисунке 3.27.

В процессе бурения скважин СРП-5 и 4 гр (глубиной 350 м каждая) притоков природных рассолов зафиксировано не было. Последующие компрессионные испытания, в отметках: -620; -720; -820, подтвердили отсутствие притоков флюидов, т.к. давление в стволе скважины составило $0 \text{ кгс}/\text{см}^2$.

Бурение скважины № СГК-1, заложенной 03 марта 2017 г. в подземной горной выработке ДШ-11, прекращено 13 июня 2017 г. по контрольному замеру на глубине **314,0 м**, Конструкция скважины приведена в таблице 3.12.

Таблица 3.12

Техническая конструкция скважины СГК-1

Диаметр бурения			Обсажено трубами \varnothing мм			Оставлено труб \varnothing мм			Данные о цементации
\varnothing мм	от м	до м	\varnothing	от м	до м	от м	до м	\varnothing	
190	0,0	4,5	146	0,0	4,5	0,0	4,5	146	до устья
151	4,5	21,0	127	0,0	21,0	0,0	21,0	127	до устья
114	21,0	314,0	открытый ствол						

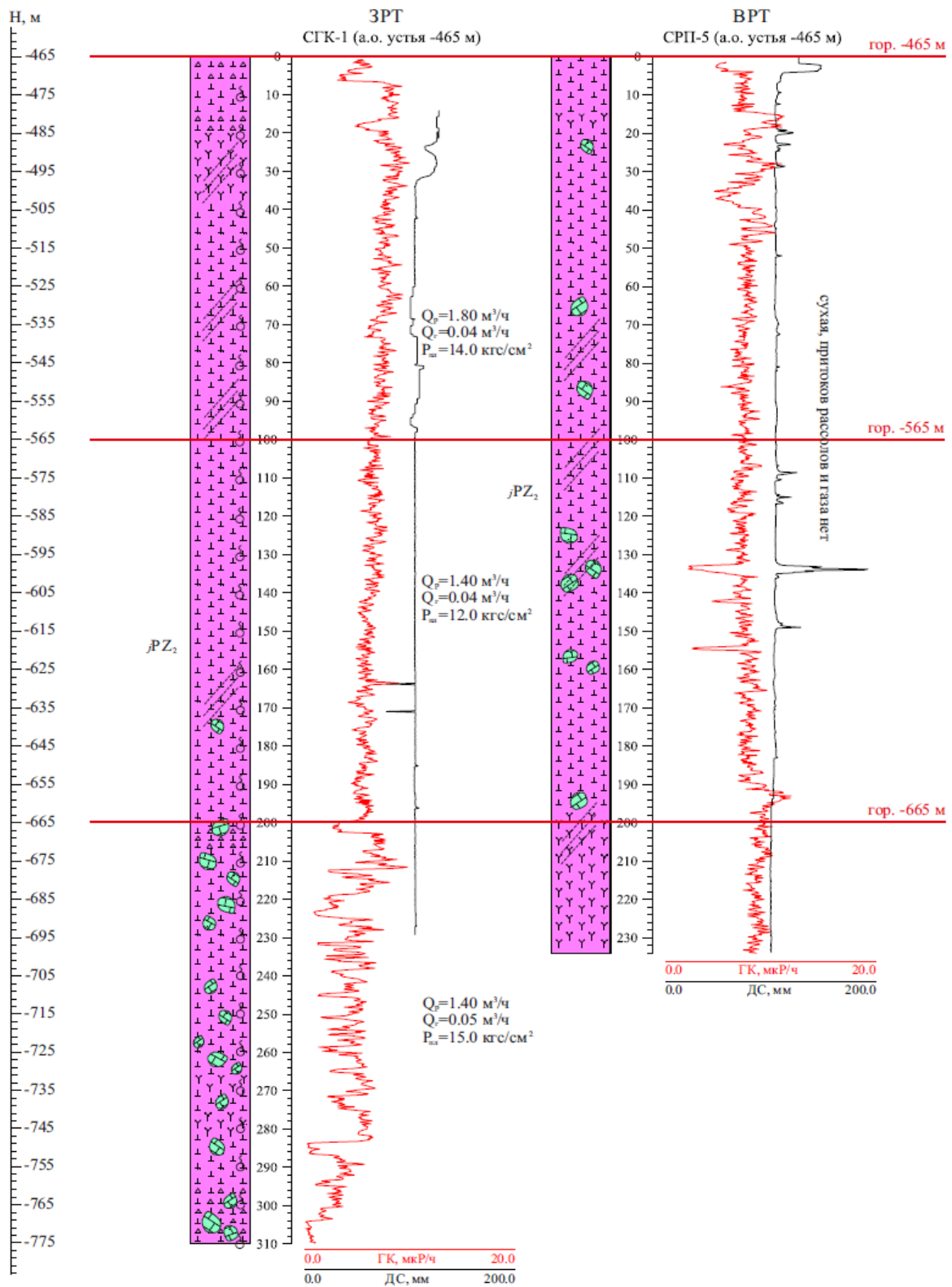


Рис. 3.27 Корреляционная схема по скважинам № СГК-1 и № СРП-5.

Глубина вскрытия водоносного горизонта – 84,0 м (а.о. – 549,0 м). Установившийся уровень – самоизлив с дебитом 2,75 м³/час, который впоследствии уменьшается до 1,8 м³/час. Рассолы хлоридно-кальциевые с минерализацией до 397 г/л. Поинтервальные гидрогеологические исследования

по данной скважине проводились по принципу разреженных интервалов (через каждые 20 м проходки), результаты проведенных работ приведены в таблице 3.13.

Таблица 3.13

Результаты проведенных поинтервальных гидрогеологических исследований по скважине СГК-1

№ п/п	Глубина скважины, м	Глубина в абс. отм., м.	Дата	Время от начала опыта, мин	Давление, кгс/см ²	Приток рассолов, м ³ /ч	Плотность рассола, кг/л	Минерализация, г/л	Дебит газа, м ³ /час	Газовый фактор, м ³ /м ³	абс. отм. достигнутого пьезометрического уровня, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	100,0	-565,0	21.12.16	1	0,60	1,800	1,282	394,0	0,042	0,0233	-357,90
				2	1,00						
				3	1,50						
				5	2,50						
				10	8,50						
				15	13,50						
				20	14,00						
				25	14,00						
				30	14,00						
2	120,0	-585,0	06.04.17	1	2,00	1,200	1,275	379,5	0,060	0,025	-323,82
				2	3,60						
				3	4,20						
				5	6,00						
				10	9,00						
				15	10,50						
				20	11,70						
				25	12,50						
				30	13,00						
				45	14,20						
				60	15,90						
				70	17,00						
80	18,00										
90	18,00										

продолжение таблицы 3.13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	140,0	-605,0	08.04.17	1	1,00	1,725	1,282	394,0	0,028	0,0167	-339,41
				2	1,30						
				3	1,80						
				5	2,50						
				10	7,80						
				15	13,00						
				20	14,50						
				25	15,50						
				30	16,10						
				35	16,10						
4	160,0	-625,0	10.04.17	1	1,00	1,44	1,279	385,02	0,045	0,036	-355,54
				2	2,00						
				3	2,50						
				5	3,50						
				10	6,60						
				15	10,70						
				20	13,50						
				25	14,00						
30	14,00										
5	180,8	-645,8	12.04.17	1	1,00	1,314	1,280	393,0	0,0288	0,0219	-343,91
				2	1,20						
				3	1,70						
				5	2,30						
				10	5,80						
				15	9,00						
				20	13,00						
				25	14,90						
				30	15,50						
				35	15,50						
6	198,2	-663,2	14.04.17	1	0,50	1,235	1,280	393,0	0,022	0,018	-355,63
				2	0,70						
				3	1,10						
				5	3,20						
				10	6,00						
				15	10,50						
				20	13,60						
				25	14,00						
30	14,00										
7	219,8	-684,8	16.04.17	1	1,00	1,777	1,283	397,2	0,0478	0,0268	-351,98
				2	1,50						
				3	2,10						

продолжение таблицы 3.13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	219,8	-684,8	16.04.17	5	2,60	1,777	1,283	397,2	0,0478	0,0268	-351,98
				10	6,10						
				15	10,00						
				20	13,80						
				25	14,50						
				30	14,50						
8	246.0	-711.0	28.05.17	1	1	1.095	1.286	394.7	0.047	0.043	-362.81
				2	2						
				3	2.6						
				5	3.2						
				10	5						
				15	6						
				20	7						
				25	8.4						
				30	9.9						
				40	12.2						
				50	13.4						
60	13.4										
9	263.8	-728.8	02.06.17	1	0.8	1.22	1.282	389	0.068	0.055	-361.73
				2	1.6						
				3	2.2						
				5	2.9						
				10	5.5						
				15	6.4						
				20	7.4						
				25	8.5						
				30	10.2						
				40	12.5						
				50	13.5						
60	13.5										
10	278.3	-743.3	04.06.17	1	0.8	1.35	1.28	386	0.072	0.053	-365.40
				2	1.5						
				3	2.2						
				5	2.8						
				10	5.4						
				15	6.5						
				20	7.5						
				25	8.4						
				30	10						
				40	12.2						
				50	13						

Дебит рассолов по стволу скважины изменяется нелинейно, графическая интерпретация изменения дебита приведена на рисунке 3.28. Необходимо отметить, что фиксируемый в процессе натуральных наблюдений дебит, в объёмных параметрах, изменялся незначительно. Разница между экстремальными значениями составляет $0,7 \text{ м}^3/\text{час}$. В процентном соотношении изменения более значительны и составляют 33 %. Минимальный зафиксированный дебит составил $1,1 \text{ м}^3/\text{час}$; максимальный – $1,8 \text{ м}^3/\text{час}$.

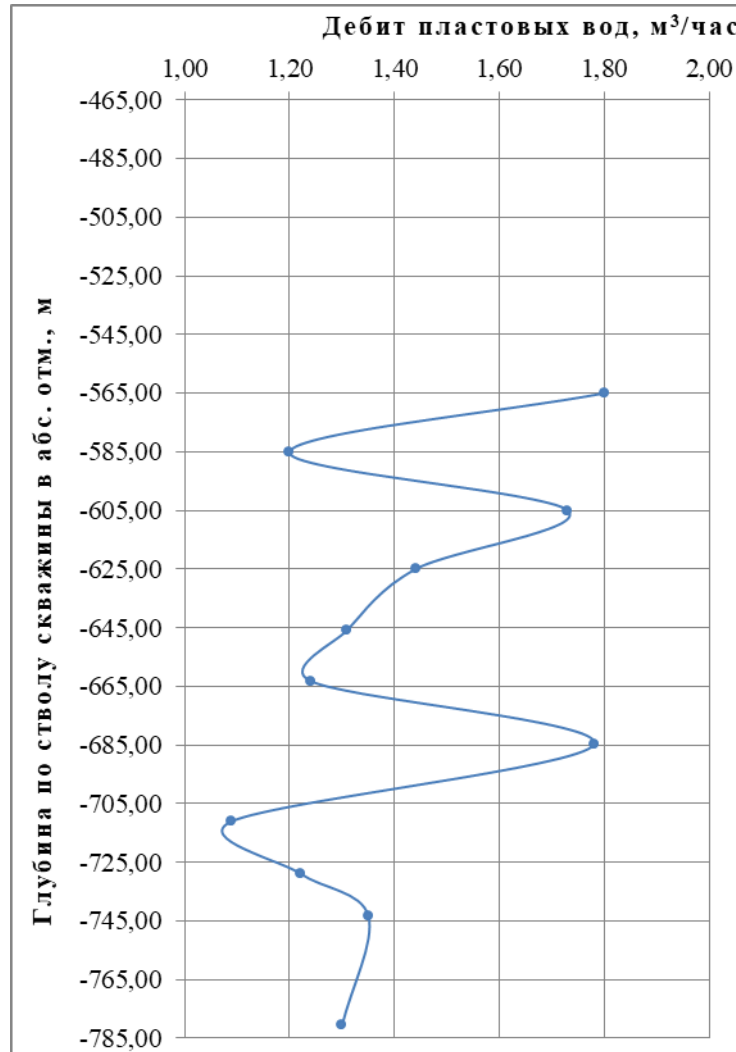


Рис. 3.28 Динамика изменения дебита пластовых вод на заданных отметках в процессе бурения скважины СКГ-1.

В целом кимберлиты месторождения трубка «Удачная» в отметках проводимых исследований /-465/ – /-700/ можно охарактеризовать как породы слабой и средней обводнённости и слабой газообильности. Необходимо отметить, что газоносность кимберлитов изучаемого месторождения очень сильно зависит от структурно-тектонического и петрографического факторов. Зачастую скважины, располагающиеся на небольшом расстоянии друг от друга, имеют характеристические гидрогеологические коэффициенты, отличающиеся на порядок.

3.5. Углеводородные газы в отложениях шахтного поля трубки «Удачная»

Изучение флюидопроявлений на руднике «Удачный» по вышележащим горизонтам выполнялось ИПКОН РАН в период с 2001 по 2016 гг. и институтом «Якутнипроалмаз» в 2017 г.

В 2001 г. ИПКОН РАН предоставил Экспертное заключение о составе, количестве и характере выделения природных газов на месторождении трубка «Удачная» при его отработке подземным способом. После выполнения анализа имеющихся материалов, было выдано заключение об отнесении рудника «Удачный» к «газовому режиму».

Экспертные заключения, предоставляемые ИПКОН РАН в период до 2016 г., также подтверждали факт наличия в разрезе вмещающих пород газонасыщенных коллекторов, и подтверждали режим работы рудника как «газовый».

В ходе исследований, выполненных в 2016 г. институтом «Якутнипроалмаз», были решены следующие задачи:

- собраны и проанализированы все исходные геолого-геохимические, криогидрогеологические данные о видах, составах, объемах газовых компонентов в подземной криогидросфере до отметки -680 м на месторождении и вблизи него;
- собраны и проанализированы все материалы по составу и концентрациям горючих и прочих газов в атмосфере подземных горных выработок рудника;
- проанализированы проектные решения по вскрытию и отработке месторождения на глубину разведанных запасов (отм. -680 м);
- проанализированы применяемые на руднике технологии ведения горных работ (БВР, вентиляция, дегазация, аэрогазовый контроль и др.);
- проанализированы, обоснованы и выданы исходные данные о необходимости перевода подземного рудника на соответствующий газовый режим при отработке до отм. -680 м.

После выполнения исследований и анализа имеющихся материалов, было выдано заключение о необходимости продления газового режима рудника «Удачный» до отм. -680 м.

В связи с недостаточным количеством информации о составе, количестве, характере нефтегазовых проявлений и гидрогеологических условий отработки до отм. -820 м рудника «Удачный», была составлена рабочая документация по бурению шести вертикальных скважин №№: 1гр; 2гр; 3гр; 4гр; 5гр и 5^ггр в отметках -465/-820 м [Янников и др., 2022в ф]. Работы были выполнены в период с февраля 2019 по январь 2020 г. Было пробурено 5 скважин до отметки -

820,0 м и 1 скважина (5гр) до отметки -620,0 м. (суммарно 1733,6 м). Бурение скважин осуществлялось как сплошным, так и кольцевым забоем (с отбором керна на заданных отметках).

– *скважина 1ГР*, пробурена гор. -652,5, транспортный уклон, ПК-55 камера проходческого водоотлива. Скважина пройдена кольцевым забоем с полным отбором керна. Конструкция скважины: 0,0–10,0 м \varnothing 146 мм – обсадная колонна; 10,0–169,0 м \varnothing 114 мм – открытый ствол.

– *скважина 2ГР*, пробурена гор. -465, ДШ№8, буровая камера К1³. Для сооружения скважины было принято решение о восстановлении и углубке ранее пробуренной скважины СРП-2. Конструкция скважины: 0,0–15,0 м \varnothing 146 мм – обсадная колонна; 15,0–261,0 \varnothing 112 мм – открытый ствол; 261,0–356,0 \varnothing 112 мм – открытый ствол.

– *скважина 3ГР*, пробурена в гор. -480, транспортный штрек, ПК-118, камера К2. Для сооружения скважины было принято решение о восстановлении и углубке ранее пробуренной скважины СРП-6. Конструкция скважины: 0,0–15,0 м \varnothing 146 мм – обсадная колонна; 15,0–343,8 \varnothing 93 мм – открытый ствол.

– *скважина 4ГР*, пробурена гор. -465, ВРТ, ДШ№5. Для сооружения скважины было принято решение о восстановлении и углубке ранее пробуренной скважины СРП-5. Конструкция скважины: 0,0–15,0 м \varnothing 146мм – обсадная колонна; 15,0–343,8 \varnothing 93 мм – открытый ствол.

– *скважина 5ГР*, пробурена гор. -465, ЗРТ, ДШ №11. Скважина пройдена сплошным забоем до глубины 155 м, на глубине 138,0 м скважиной была подсечена зона дезинтегрированных кимберлитов пониженной плотности. После вскрытия данного интервала дебит излива из скважины увеличился с 15 м³/час до 26,5 м³/час. Было принято решение скважину, пробуренную до глубины 155 м, оставить и передать в режим гидрогеологической службе УГОКа в качестве наблюдательной и дренажной (№02-240/249 Пр-ПС от 22.08.2019).

Новая точка заложения скважины № 5'ГР была определена в этой же выработке (ДШ-11) в 20 м восточнее скважины № 5ГР. В интервале 142–148 м скважиной № 5'ГР также вскрыта зона дезинтегрированных кимберлитов пониженной плотности. Для определения мощности зоны и глубины установки обсадной колонны (для перекрытия данной зоны) бурение было продолжено укороченными рейсами с отбором керна. В интервале 148–167,5 м подняли разрушенного кернового материала 1,5 м. Неразрушенный керн подняли только с интервала 167,5–169,3 – 1,5 м. Дальнейшее выполнение работ было продолжено после расширения скважины до глубины 198 м \varnothing 151 мм и обсадки данного интервала трубами \varnothing 127 мм. Бурение прекращено на глубине 355,2 м \varnothing 93 мм. Конструкция скважины: 0,0–15,0 м \varnothing 146мм – обсадная колонна; 15,0–155,0 \varnothing 93 мм – открытый ствол. Скважина передана в режимную сеть рудника

«Удачный».

– скважина 5'ГР, пробурена гор. -465, ЗРТ, ДШ №11. При сооружении скважины были выполнены следующие работы: бурение сплошным забоем и последующее расширение скважины до \varnothing 219 мм в интервале 0,0–15,0 м; установка обсадной колонны \varnothing 168 мм в интервале 0,0–15,0 м. с последующей цементацией затрубного пространства; бурение сплошным забоем \varnothing 93 мм в интервале 15,0–198,1 м; расширение диаметра скважины до \varnothing 151 мм в интервале 15,0–198,0 м; крепление стенок скважины обсадными трубами \varnothing 127 мм в инт. 0–198,0 м без цементации затрубного пространства; бурение сплошным забоем в интервале 198,0–282,2 м; бурение кольцевым забоем с полным отбором керна в интервале 282,0–355,2 м. Конструкция скважины: 0,0–15,0 м \varnothing 168 мм – обсадная колонна; 0,0–198,0 м \varnothing 127 мм – обсадная колонна; 198,0–355,2 \varnothing 93 мм – открытый ствол.

Бурение данных скважин осуществлялось по толще средне-нижнекембрийских, преимущественно карбонатных пород и отложений. Проходка скважин произведена с промывкой забоя пластовой водой, данное решение позволяло не допускать кольматацию вскрываемых коллекторов.

Расстояние между гидрогеологическими скважинами №№: 1ГР; 2'ГР; 3ГР; 4'ГР; 5ГР; 5'ГР приведены в таблице 3.14. Данные по пробуренным скважинам показаны в таблице 3.15.

Таблица 3.14

Расстояния между скважинами №№ 1ГР, 2'ГР, 3ГР, 4ГР, 5ГР и 5'ГР.

№ скважин	Координаты			Расстояние между скважинами, м					
	X	Y	Z	1ГР	2ГР	3ГР	4ГР	5ГР	5'ГР
1ГР	6454,820	7999,108	-652,31	-	816,5	631,9	542,1	710,9	705,7
2'ГР	7174,265	7612,99	-463,84	816,5	-	226,7	382,4	145,8	137,4
3ГР	7056,762	7806,865	-479,58	631,9	226,7	-	156,6	224,9	206,9
4'ГР	6994,734	7950,33	-466,45	542,1	382,4	156,6	-	369,2	352,7
5ГР	7031,477	7583,341	-464,95	710,9	145,8	224,9	369,2	-	18,5
5'ГР	7037,364	7600,844	-464,79	705,7	137,4	206,9	352,7	18,5	-

Гидрогеологические исследования проводились как в процессе бурения скважины, так и по его окончанию. Комплекс гидрогеологических исследований по сооружаемым скважинам включал:

1. Гидрогеологические исследования в процессе проходки скважин через каждые 10 м проходки в отметках -720 м -820 м. Продолжительность исследований на каждом десятиметровом интервале от 2 до 4 часов.

2. Гидрогеологические исследования по достижению скважинами отметок -620 м, -720, -820 м.

Данные по вновь пробуренным скважинам

№ п/п	№ скв	Глубина скв., м	Координаты			Глубина вскрытия пластовых вод (водонасыщенных пород), м. по стволу скважины/в абс. отм.	Дата завершения бурения	Установившееся устьевое давление, кгс/см ²
			X	Y	Z			
1	1ГР	169,0	6454,820	7999,108	-652,31	0,0 / -652,3	21.03.19	9,7
2	2ГР	356,0	7174,265	7612,99	-463,84	0,0 / -463,84	31.10.19	19,12
3	3ГР	348,8	7056,762	7806,865	-479,58	21,0/ -500,58	23.05.19	9,5
4	4'ГР	356,15	6994,734	7950,33	-466,45	скважина сухая	09.07.19	0,0
5	5ГР	155,0	7031,477	7583,341	-464,95	138/ -602,95	15.08.19	2,5
6	5'ГР	220,7	7037,364	7600,84	-464,79	142,5/ -607,29	20.01.20	0,76

Расположение скважин показано на рисунке 3.29.



Рис. 3.29 Схема расположения скважин.

Каждый из типов исследований, перечисленных выше, состоял из нескольких видов работ.

1. Гидрогеологические исследования в процессе проходки скважин через

каждые 10 м проходки состояли из:

а) определения дебита выделения растворенных газов (единичное усредненное определение).

б) определения дебита напорных газонасыщенных рассолов (единичное усредненное определение).

с) наблюдение за восстановлением пластового давления в стволе скважины (1–2 часа).

2. Гидрогеологические исследования по достижению скважины отметок -620, -720 и -820 м состояли из:

а) одиночного водовыпуска, с постоянным наблюдением за изменением расхода напорных вод, растворенных газов и давлением на устье скважины, продолжительностью 24 часа.

б) наблюдения за восстановлением избыточного давления в стволе скважины, перед одиночным водовыпуском, продолжительностью 24 часа, с постоянным объективным инструментальным контролем за изменением давления на устье скважины.

Поинтервальные гидрогеологические исследования по скважинам выполнялись гидрогеологической службой ВГРЭ. Результаты выполненных работ на опытных скважинах по приведенным интервалам в табл. 3.16-3.20.

Таблица 3.16

Результаты, полученные по скважине №1гр

№ п/п	Глубина скважины, м	Глубина скважины в абс. отм., м	Дата проведения замера	Давление, кгс/см ²	Приток рассолов, м ³ /ч	Дебит газа, м ³ /час
1	20,4	-672,7	18.02.2019	4,4	0,073	0,0
2	32,0	-684,3	19.02.2019	4,0	0,053	0,0
3	40,3	-692,6	21.02.2019	4,9	0,078	0,005
4	51,7	-704	22.02.2019	4,5	0,07	0,005
5	61,9	-714,2	24.02.2019	5,1	0,206	0,008
6	71,6	-723,9	25.02.2019	7,6	0,2	0,008
7	80,6	-732,9	28.02.2019	8,4	0,225	0,007
8	90,8	-743,1	01.03.2019	6,1	0,2	0,007
9	100,0	-752,3	04.03.2019	3,7	0,18	0,006
10	111,7	-764,0	08.03.2019	4,6	0,168	0,005
11	120,0	-772,3	10.03.2019	8,1	0,174	0,005
12	131,9	-784,2	13.03.2019	4,1	0,169	0,004
13	140,5	-792,8	14.03.2019	3,8	0,169	0,006
14	150,0	-802,3	16.03.2019	4,2	0,169	0,004
15	160,8	-813,1	17.03.2019	3,2	0,159	0,003
16	169,0	-821,3	19.03.2019	3,4	0,159	0,003

Глубина вскрытия водоносного горизонта – 0,0 м (а.о. – 465,0 м). Установившийся уровень – самоизлив с дебитом 0,073 м³/час, который при дальнейшем бурении увеличился до 0,225 м³/час. Рассолы хлоридно-кальциевые, с минерализацией до 366 г/л. Дебит рассолов по стволу скважины в процессе бурения изменяется нелинейно, отмечается незначительное увеличение дебита в отметках от -705 до -733 м. Необходимо отметить, что фиксируемый в процессе натуральных наблюдений дебит, в объёмных параметрах, изменялся незначительно. Разница между экстремальными значениями составляет 0,155 м³/час. В процентном соотношении изменения более значительны и составляют 68 %. Минимальный зафиксированный дебит составил 0,07 м³/час; максимальный – 0,225 м³/час. Изменение дебита водорастворённых газов в процессе бурения также происходило не линейно. Минимальный зафиксированный дебит составил 0,008 м³/час; максимальный – 0,03 м³/час.

Таблица 3.17

Результаты, полученные по скважине №2гр

№ П/П	Глубина скважины, м	Глубина скважины в абс. отм., м	Дата проведения замера	Давление, кгс/см ²	Приток рассолов, м ³ /ч	Дебит газа, м ³ /час
1	2	3	4	5	6	7
1	240,0	-703,9	04.05.2019	5,4	0,186	0,031
2	249,7	-713,6	15.05.2019	2,9	0,268	0,027
3	257,0	-720,9	19.05.2019	1,2	0,415	0,03
4	279,0	-742,9	27.05.2019	2,4	3,6	0,185
5	290,0	-753,9	30.05.2019	-	6,0	0,216
6	294,4	-758,3	03.06.2019	-	4,3	0,192
7	312,0	-775,9	10.06.2019	-	4,8	0,2
8	320,0	-783,9	21.09.2019	-	12,0	0,28
9	328,6	-792,5	23.09.2019	-	12,6	0,3
10	341,0	-804,9	25.09.2019	-	13,6	0,25
11	355,5	-819,4	30.09.2019	-	10,0	0,38

Глубина вскрытия водоносного горизонта – 0,0 м (а.о. – 463,84 м). Установившийся уровень – самоизлив с дебитом 0,186 м³/час (глубина скважины 240 м), который при дальнейшем бурении увеличился до 16,8 м³/час. Рассолы хлоридно-кальциевые с минерализацией до 407 г/дм³. Дебит рассолов по стволу скважины изменяется нелинейно, отмечаются отдельные максимумы и минимумы. Необходимо отметить, что фиксируемый в процессе натуральных наблюдений дебит, в объёмных параметрах, изменялся значительно от 0,186 м³/час в начале проходки скважины (глуб. 240 м), до полного исчезновения самоизлива на устье скважины (глуб. 271,0) и дальнейшего нелинейного увеличения излива до 17,8 м³/час при достижении скважиной глубины 356,0 м.

Изменение дебита водорастворённых газов в процессе бурения скважины 2'ГР также происходило нелинейно. Минимальный зафиксированный дебит, при наличии излива из скважины составил 0,003 м³/час; максимальный – 0,41 м³/час.

Таблица 3.18

Результаты, полученные по скважине №3гр

№ п/п	Глубина скважины, м	Глубина скважины в абс. отм., м	Дата проведения замера	Давление, кгс/см ²	Приток рассолов, м ³ /ч	Дебит газа, м ³ /час
1	2	3	4	5	6	7
1	220,4	-700,0	16.04.2019	1,6	0,088	0,304
2	234,0	-713,6	22.04.2019	3,3	0,072	0,27
3	240,9	-720,5	23.04.2019	2,5	0,095	0,34
4	250,0	-729,6	27.04.2019	2,6	0,163	0,284
5	260,2	-739,8	02.05.2019	2,7	0,192	0,3
6	270,2	-749,8	06.05.2019	3,1	0,45	0,193
7	280,0	-759,6	10.05.2019	4,5	31,3	0,3
8	290,5	-770,1	12.05.2019	4,8	34,1	0,29
9	302,5	-782,1	13.05.2019	5,0	35,6	0,21
10	310,5	-790,1	14.05.2019	5,4	35,0	0,27
11	321,0	-800,6	15.05.2019	5,6	28,8	0,31
12	330,0	-809,6	17.05.2019	5,2	36,0	0,28
13	343,8	-823,4	19.05.2019	4,7	36,3	0,21

Глубина вскрытия водоносного горизонта – 21,0 м (а.о. – 485,0 м) установлена в процессе бурения скважины №СРП-6 31 мая 2017 г, самоизлив с дебитом скважины СРП-6 увеличился до 0,15 м³/час. После проработки ствола скважины до глубины 220,4 м 16 апреля 2019 дебит самоизлива составил 0,095 м³/час, который при дальнейшем бурении скважины 2'ГР значительно увеличился до 34,3 м³/час. Рассолы хлоридно-кальциевые с минерализацией до 395 г/л. Дебит рассолов по стволу скважины изменяется нелинейно, отмечаются отдельные максимумы и минимумы. Необходимо отметить, что при проходке отметки -750,5 м были вскрыты водообильные коллекторы, дебит излива на устье скважины в разы увеличился с 0,45 м³/час до 31,3 м³/час. В целом при дальнейшем углублении скважины в отметках -750,5 до -823,4 отмечается тенденция к незначительному увеличению дебита излива с углублением скважины. Изменения дебита растворенных газов в процессе бурения скважины 3'ГР были незначительны и происходили нелинейно. Минимальный зафиксированный дебит составил 0,193 м³/час; максимальный – 0,427 м³/час; средний – 0,280 м³/час. Глубина вскрытия водоносного горизонта – 138,0 м (а.о. – 602,95 м). Установившийся уровень – самоизлив с дебитом 26,5 м³/час. Рассолы хлоридно-кальциевые с минерализацией до 399 г/дм³.

Таблица 3.19

Результаты, полученные по скважине №5гр

№ п/п	Глубина скважины, м	Глубина скважины в абс. отм., м	Дата проведения замера	Давление, кгс/см ²	Приток рассолов, м ³ /ч	Дебит газа, м ³ /час
1	2	3	4	5	6	7
1	155,0	-620,0	14-16.08.19	2,5	25,0	2,9

Гидрогеологические исследования проведёны по скважине № 5ГР в период с 14 по 16 августа 2019 г при глубине 155,0 м (а.о. -620,0 м). Выпуск напорных вод осуществлялся с ограничением дебита излива, с избыточным давлением на устье скважины. Дебит излива пластовых вод в течение наблюдений изменялся с постоянным уменьшением дебита и давления со временем, от 25,0 м³/час при давлении в устьевой части скважины 2,4 кгс/см² в начале выпуска до 19,5 м³/час при давлении 1,8 кгс/см² в конце. Средний дебит излива пластовых вод составил 22,5 м³/час. Замер дебита газа параллельно с замерами дебита рассолов, имеющимся на площадке оборудованием, не представляется возможным. Газовый фактор и дебит газа замерялись объемным методом в конце выпуска серий замеров, с ограничением дебита рассола до 0,8 м³/час средний дебит газа составил 0,09 м³/час средний газовый фактор составил 0,117 м³/м³.

Таблица 3.20

Результаты, полученные по скважине №5'гр

№ п/п	Глубина скважины, м	Глубина скважины в абс. отм., м	Дата проведения замера	Давление, кгс/см ²	Приток рассолов, м ³ /ч	Дебит газа, м ³ /час
1	2	3	4	5	6	7
1	293,0	-757,8	06.12.2020	-	7,83	0,055
2	308,7	-773,5	09.01.2020	-	8,47	0,134
3	315,7	-780,5	11.01.2020	-	6,37	0,117
4	325,5	-790,3	13.01.2020	-	8,67	0,139
5	335,5	-800,3	14.01.2020	-	8,28	0,132

Глубина вскрытия водоносного горизонта – 142,5 м (а.о. – 607,3 м). Установившийся уровень – самоизлив с дебитом 80 м³/час. Рассолы хлоридно-кальциевые с минерализацией до 393 г/дм³. Дебит рассолов по стволу скважины изменяется нелинейно, фиксируемый в процессе натуральных наблюдений дебит, при проходке скважины в интервале глубин 198,0–355,2 м (после перекрытия зоны дезинтегрированных кимберлитов извлекаемой обсадной трубой) в объёмных параметрах изменялся незначительно, и основной объем рассолов поступал из затрубного пространства обсадной колонны. Разница между экстремальными значениями составляет 3,25 м³/час. В процентном соотношении

изменения более значительны и составляют 34 %. Минимальный зафиксированный дебит составил 6,29 м³/час, максимальный – 9,54 м³/час. Изменение дебита водорастворённых газов в процессе бурения в интервале глубин 198,0–355,2 м также происходило не линейно. Минимальный зафиксированный дебит составил 0,055 м³/час; максимальный – 0,18 м³/час. В целом отмечается тенденция к его увеличению с глубиной проходки. Газовый фактор замерялся серией замеров по окончании выпуска при ограничении дебита рассолов до 0,7 м³/час, среднее значение газового фактора составило 0,95 м³/м³.

В целом вмещающие породы удачинской свиты околотрубного и межтрубного массива месторождения трубки «Удачная» в отметках проводимых исследований /-700м/ – /-820м/ можно охарактеризовать как породы *средней обводнённости и повышенной обводнённости в межтрубье (до 37,2 м³/час)* и *слабой газообильности (до 0,54 м³/час)*. Необходимо отметить, что газоносность и водообильность карбонатных пород указанной свиты месторождения очень сильно зависят от структурно-тектонического и литолого-фациального факторов. Зачастую скважины, располагающиеся на небольшом расстоянии друг от друга, имеют характеристические гидрогеологические коэффициенты, отличающиеся на порядок.

По исследованиям, проведенным по указанным выше опытными скважинам, дебиты пластовых газов невелики, т.к. полученные значения не превышали 0,1 м³/час. Истечение пластовых газов ламинарное, турбулентных истечений и динамических газовых явлений (выбросов газа) по опытными скважинам зафиксировано не было. В процессе бурения опытных скважин фактов наличия свободных пластовых газов, как во вмещающих породах, так и в кимберлитах не выявлено. Доминирующая часть газов выделяется при дегазации газонасыщенных рассолов.

Фиксируемое истечение пластовых газов из устьев скважин классифицировалось как ламинарное, на некоторых интервалах был отмечен суфлярный характер выделения газа, турбулентных истечений и динамических газовых явлений (выбросов газа) по опытными скважинам зафиксировано не было. Химический состав газов по скважинам 2гр, 3гр приведен в таблице 3.21.

Согласно приведенным в таблице данным зафиксированные пластовые газы относятся к углеводородным, метановым (т.к. данный газ занимает доминирующее положение до 95 %, а вместе с гомологами до 98 %). Характеристические диаграммы процентного состава газов по опытными скважинам приведены на рисунках 3.30–3.33.

Химический состав пластовых газов по опытным скважинам

№ скв	Среднее содержание компонента в пробе, % (объемный)									
	УВГ	СН ₄	этан	пропан	i-бутан	n-бутан	N ₂	O ₂	CO ₂	He
СГК-1	98,2	95,0	2,7	0,4	0,03	0,05	1,49	0,2	0,23	0,04
	98,0	95,4	2,1	0,3	0,03	0,06	1,56	0,1	0,41	0,05
5гр	96,9	94,0	2,6	0,2	0,01	0,11	1,9	0,1	1,2	0,09
2гр	95,9	94,0	1,7	0,1	0,01	0,09	2,52	0,1	0,5	0,09
1гр	95,89	78,0	12,8	3,5	0,4	0,9	1,6	2,0	2,2	0,04

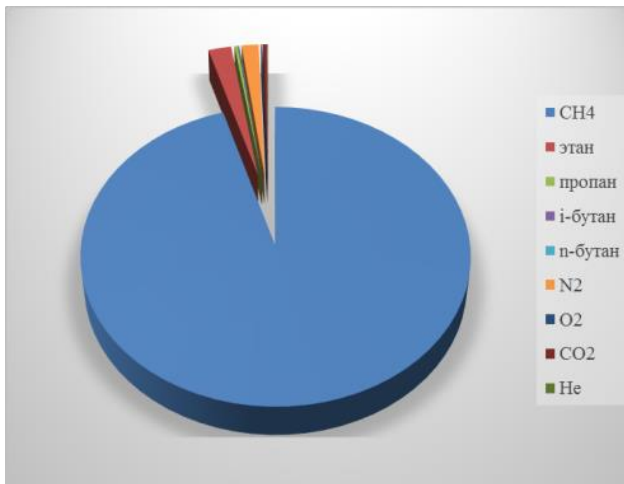


Рис. 3.30 Химический состав пластовых газов по скважине СГК-1.

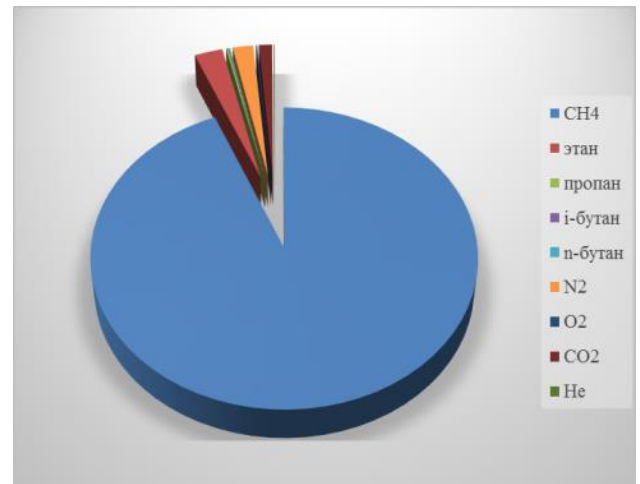


Рис. 3.31 Химический состав пластовых газов по скважине 5гр.

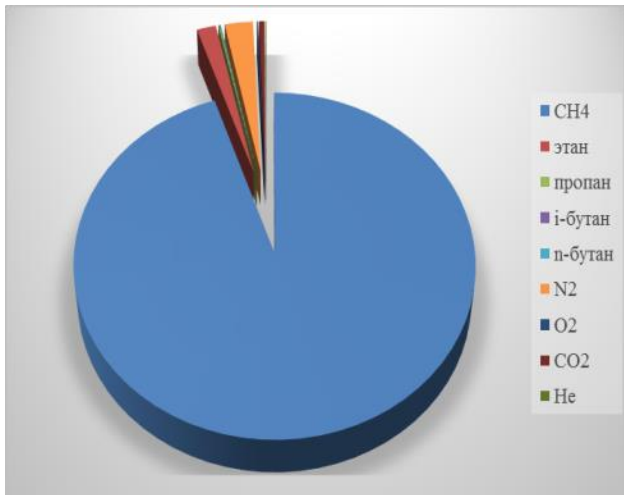


Рис. 3.32 Химический состав пластовых газов по скважине 2гр.

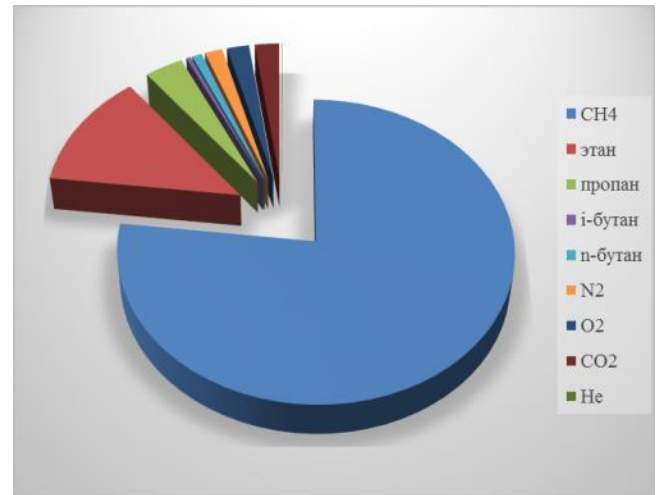


Рис. 3.33 Химический состав пластовых газов по скважине 1гр.

Анализируя динамику истечения пластовых газов и природных рассолов из опытных скважин (рис. 3.34–3.36), отмечено синхронное изменение истечения газов и природных рассолов, что связано не только с литолого-фациальными и структурно-тектоническими особенностями коллекторов СВК, но и с достаточно

значительными запасами газа в природных рассолах.

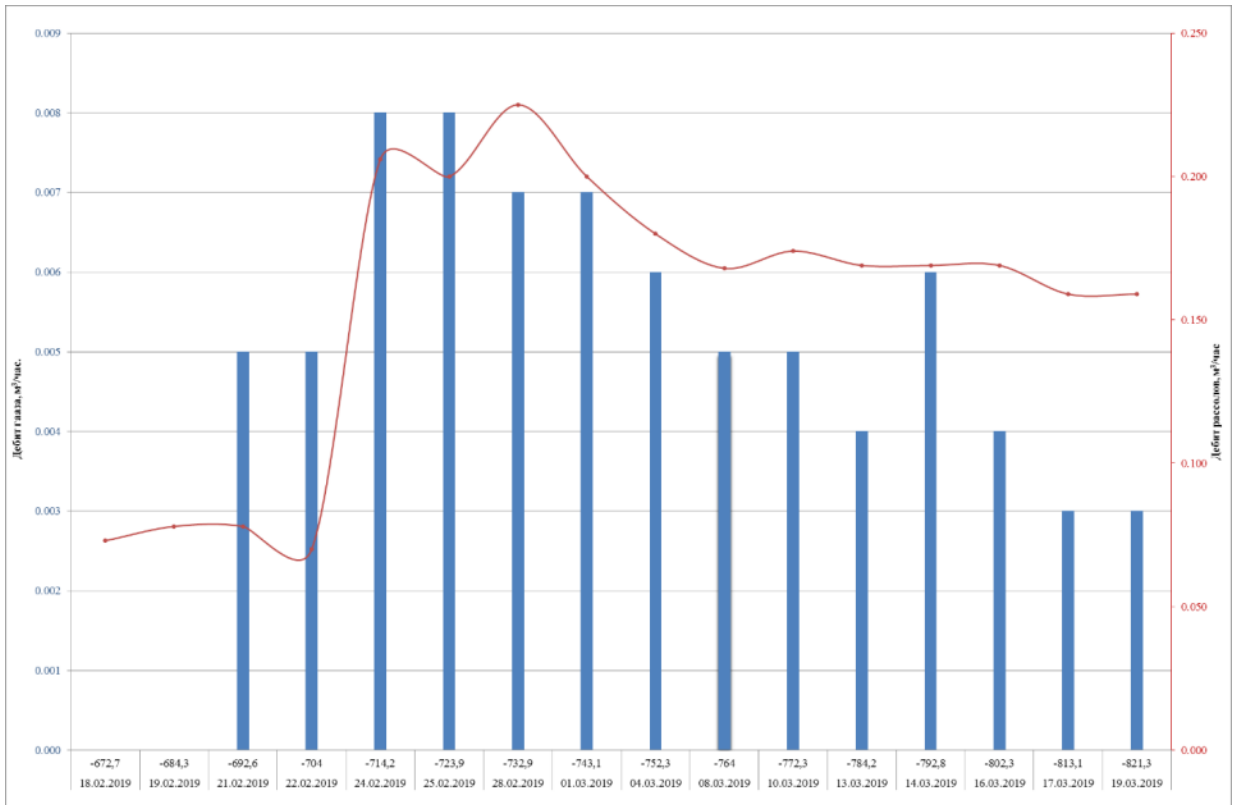


Рис. 3.34 Динамика изменения дебитов газа и рассолов на заданных глубинах (абс. отм. забоя) в процессе проходки скважины № 1ГР).

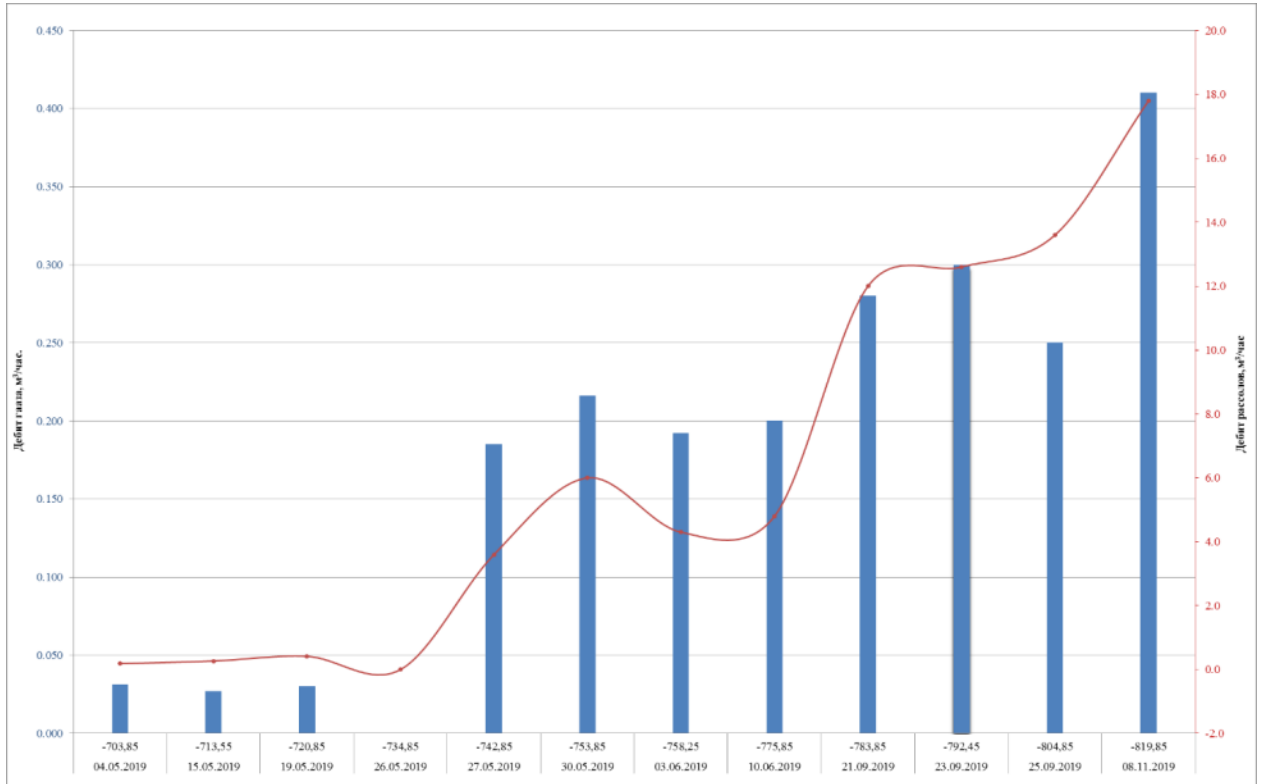


Рис. 3.35 Динамика изменения дебитов газа и рассолов на устье скважины при заданных глубинах (абс. отм. забоя) в процессе проходки скважины № 2ГР.

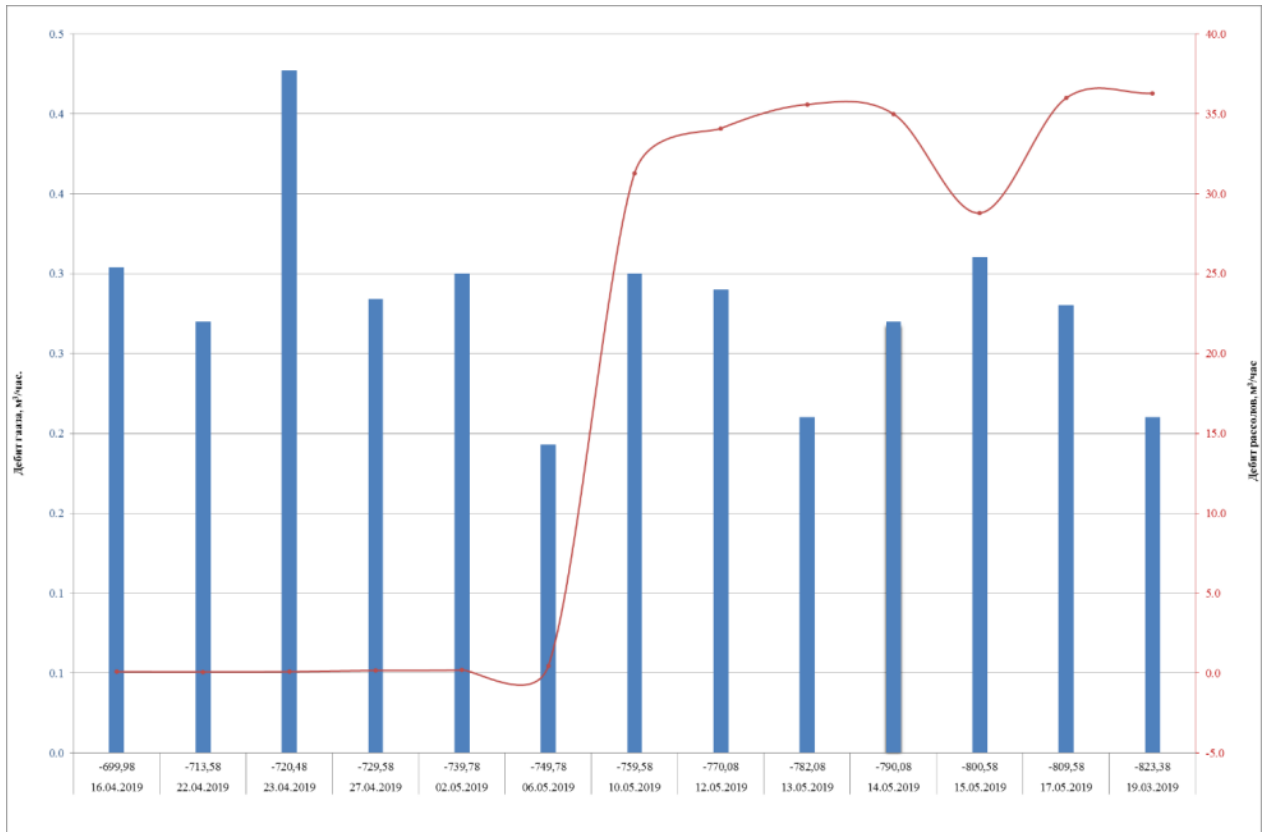


Рис. 3.36 Динамика изменения дебитов газа и рассолов на устье скважины при заданных глубинах (абс. отм. забоя) в процессе проходки скважины № 3ГР.

Поступление доминирующего количества углеводородных газов в подземные горные выработки будет происходить из-за дегазации рассолов СВК (до 90 %) и частично прямого диффузно-суфлярного выделения пластовых газов из коллекторов СВК (до 10 %). С учётом определенного по скважине 5'гр газового фактора $0,95 \text{ м}^3/\text{м}^3$, объем выделяющихся в результате дегазации рассолов СВК газов составит до $180 \text{ м}^3/\text{час}$ – для одиночной выработки и порядка $475 \text{ м}^3/\text{час}$, для выработок в отм. -700/-820 м. Суммарный расход горючих газов, с учётом дегазации рассолов СВК и свободных газов, для одиночной выработки составит до $200 \text{ м}^3/\text{час}$; и до $550 \text{ м}^3/\text{час}$ для выработок в отм. -700/-820 м.

3.6. Инженерно-геологическая характеристика шахтного поля трубки «Удачная»

Инженерно-геологическая характеристика пород приводится по результатам визуального изучения керна и лабораторных исследований физико-механических свойств пород, выполненных в лаборатории геомеханики института Якутнипроалмаз (АК «АЛРОСА»). При визуальном изучении керна указывались следующие параметры: процент выхода керна, трещиноватость (генезис, морфология, заполнитель), зоны повышенной трещиноватости и дроблённости пород. При инженерно-геологической документации керна степень трещиноватости и структурной нарушенности пород отмечались согласно критериям СНИП II–94–80.

3.6.1. Инженерно-геологическая характеристика пород известняково-доломитовой толщи (Є₂ id)

Инженерно-геологическое изучение карбонатных пород данной толщи проводилось по скважинам №№ СРП-2, СРП-3, СРП-4 и СРП-6, в отметках от (-465,0) до (-600,0) м. Данными опытными скважинами была исследована центральная и нижняя части данной толщи, т.к. при общей мощности 230–250 м, опытный интервал массива вмещающих пород составлял 135 м. Плановое расположение скважин обеспечивает изучение вмещающих пород в северо-восточных примыканиях ЗРТ (скважина №СРП-2), ВРТ (скважины №СРП-3 и №СРП-4) и межтрубочном пространстве (скважина №СРП-6). Охарактеризуем породы известняково-доломитовой толщи с учётом планового расположения и литологических разностей [Янников, 2018ф, 2021в ф, 2022д ф]

Вмещающие породы северо-восточного примыкания ЗРТ.

Изучение данного блока произведено по скважине №СРП-2, массив представлен толщей светло-серых до серых карбонатных пород, изоморфного ряда замещения: известняк → доломит. Изначально толща, сложенная преимущественно известняками, претерпела процессы замещения (вторичной доломитизации), с появлением доломитистых и доломитовых разностей известняка, известкового и известковистого доломита и полноценного доломита. Учитывая, что данные изменения не сильно сказались на инженерно-геологических свойствах пород, то характеристику основных показателей приведём для двух основных литологических разностей: известняка и доломита.

Известняк от светло-серого до серого, от скрытокристаллического до среднезернистого, массивный, на некоторых участках слоистый, полосчатый (рис. 3.37).



Рис. 3.37 Известняки известняково-доломитовой толщи (Є_2 id).

В породе отмечаются стилолитовые швы, единичные мелкие и крупные каверны, на некоторых участках происходит объединение каверн в сообщающиеся системы, до 30 % отмечаемых каверн залечены кальцитом и глинистыми минералами, реже гипсом и солью. Трещиноватость пород изменчива – от слабой до сильной. Генезис трещин различный, отмечаются сингенетические и постгенетические трещины. Около 25 % трещин закрыты, заполнителем выступают минералы указанные выше. Известняки различной степени доломитизированности составляют порядка 65 % описываемой толщи в данном блоке.

Доломит от светло-серого до тёмно-серого, от скрытокристаллического до мелкозернистого, слоистый на некоторых участках массивный (рис. 3.38). В породе отмечаются единичные стилолитовые швы, единичные мелкие и крупные каверны, до 40 % отмечаемых каверн залечены кальцитом и глинистыми минералами, реже гипсом и солью. Трещиноватость пород изменчива – от слабой до сильной. Генезис трещин различный, отмечаются сингенетические и постгенетические трещины. Около 25 % трещин закрыты, заполнителем выступают минералы указанные выше. Доломиты различной степени известковистости составляют порядка 35 % описываемой толщи в данном блоке.



Рис. 3.38 Доломиты известняково-доломитовой толщи (Є_2 id).

Распределение модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу во вмещающих породах северо-восточного примыкания ЗРТ приведено в табл. 3.22.

Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу во вмещающих породах северо-восточного примыкания ЗРТ

№ п/п	Горизонт	Стратиграфическая принадлежность	Глубина по стволу скв., м	Глубина в абс. отг., м.	Литология	Средние величины	
						Модуль кусковатости	Модуль Трещин-ти
1	-465/-565	<i>Известняково-доломитовая толща (Є₂ id)</i>	4,0	-469,0	Доломит известковистый	12	8
2			31,2	-496,2	Известняк доломитистый	5	4
3			40,6	-505,6	Доломит известковистый	9	3
4			49,1	-514,1	Известняк	5	3
5			60,2	-525,2	Доломит	15	5
6			62,2	-527,2	Известняк	13	2
7			66,5	-531,5	Доломит известковистый	14	5
8			73,2	-538,2	Известняк	12	4
9			79,7	-544,7	Доломит	17	4
10			100,0	-565,0	Известняк	12	4
11	-565/-665		107,5	-572,5	Известняк	14	5
12			117,9	-582,9	Известняк доломитистый	18	6
13			133,3	-598,3	Доломит известковистый	14	5

Графическая интерпретация распределения модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу, в пределах Блока-Горизонта /-465/ – /-565/, во вмещающих породах северо-восточного примыкания ЗРТ, в отметках залегания известняково-доломитовой толщи (Є₂ id), – рис. 3.39.

Графическая интерпретация распределения модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу, (Блок-Горизонт /-565/ – /-665/), во вмещающих породах северо-восточного примыкания ЗРТ, в отметках залегания известняково-доломитовой толщи (Є₂ id), от /-565,0/м до /-598,3/м – рис. 3.40.

Необходимо отметить, что зафиксированные трещины в основной своей массе постгенетические, тектонические, субвертикальные, субгоризонтальные различной мощности. В целом описываемый массив можно отнести к III классу трещиноватости пород (79 %), за исключением некоторых интервалов суммарной мощностью 29,0 м (порядка 21 % от общей мощности толщи), которые относятся к IV классу.

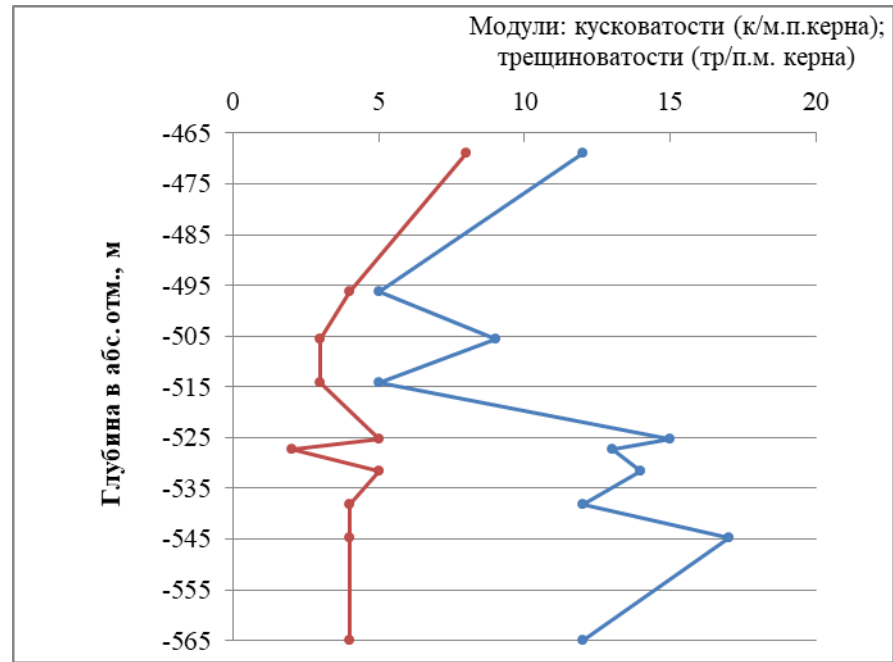


Рис. 3.39. Распределение модуля кусковатости и трещиноватости в пределах Блока-Горизонта /-465/ – /-565/ во вмещающих породах северо-восточного примыкания ЗРТ, в отм. известняково-доломитовой толщи (Є_2 id).

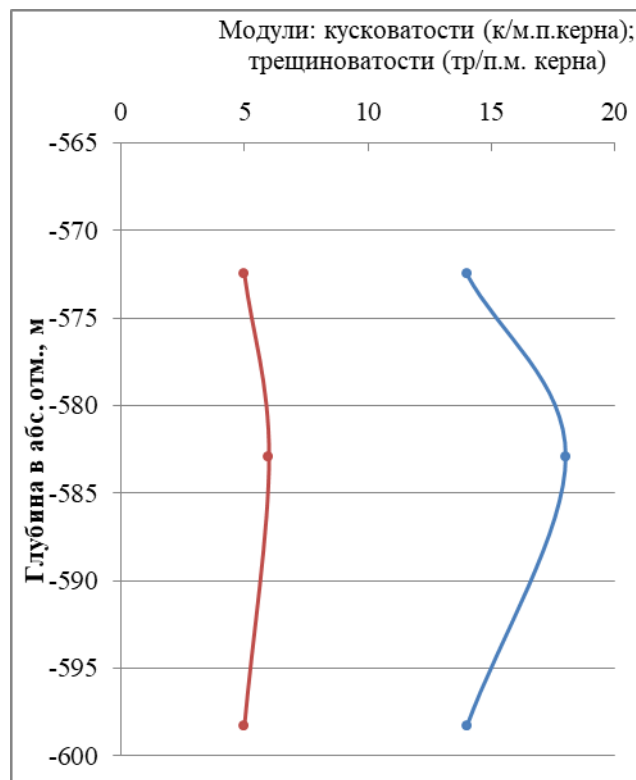


Рис. 3.40 Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу в пределах Блока-Горизонта /-565/ – /-665/ во вмещающих породах северо-восточного примыкания ЗРТ, в отм. известняково-доломитовой толщи (Є_2 id).

Известняки известняково-доломитовой толщи (Є₂ id) северо-восточного примыкания ЗРТ (скважина №СРП-2) в отметках от /-465,0/м до /-565,0/м (Блок-Горизонт /-465/ – /-565/) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 81,4 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 5,9 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 30,3 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 37,9°;
- влажность составляет 0,96%;
- объёмная масса – 2,71 г/см³;

Доломиты известняково-доломитовой толщи (Є₂ id) северо-восточного примыкания ЗРТ (скважина №СРП-2) в отметках от /-465,0/м до /-565,0/м (Блок-Горизонт /-465/ – /-565/) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 85,7 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 6,6 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 29,9 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 37,3°;
- влажность составляет 0,84%;
- объёмная масса – 2,73 г/см³;

Характеристика прочностных параметров и физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород *известняково-доломитовой толщи (Є₂ id)* приведены в таблицах 3.23 и 3.24

Таблица 3.23

Средние значения физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород *известняково-доломитовой толщи (Є₂ id)* северо-восточного примыкания ЗРТ в отметках от /-465,0/м до /-565,0/м (Блок-Горизонт /-465/ – /-565/) месторождения трубки «Удачная»

	Влажность, %W	Объёмная масса, г/см ³ □
<u>Известняково-доломитовая толща (Є₂ id)</u>		
Известняки n=94	<u>0,12-4,19</u> 0,96	<u>2,45-2,77</u> 2,71
Доломиты n=33	<u>0,53-1,36</u> 0,84	<u>2,72-2,75</u> 2,73

Таблица 3.24

Средние значения прочностных свойств основных литологических разностей вмещающих пород известняково-доломитовой толщи ($E_2 id$) северо-восточного примыкания ЗРТ в отметках от $-465,0/м$ до $-565,0/м$ (Блок-Горизонт $-465/ -565/$) месторождения трубки «Удачная»

	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа; $\sigma_{сж}$	Предел прочности при растяжении, МПа; $\sigma_{раст}$	Угол внутреннего трения, град,	Условное сцепление, МПа
<i>Известняково-доломитовая толща ($E_2 id$)</i>				
Известняки n=94	$\frac{34,5-150,7}{81,4}$	$\frac{2,1-8,7}{5,9}$	$\frac{31,8-42,4}{37,9}$	$\frac{11,3-60,9}{30,3}$
Доломиты n=33	$\frac{56,1-128,3}{85,7}$	$\frac{5,2-8,2}{6,6}$	$\frac{35,7-38,3}{37,3}$	$\frac{17,9-48,2}{29,9}$

Известняки известняково-доломитовой толщи ($E_2 id$) северо-восточного примыкания ЗРТ (скважина №СРП-2) в отметках от $-565,0/м$ до $-598,3/м$ (Блок-Горизонт $-565/ -665/$) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 99,2 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 7,1 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 35,5 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 37,8°;
- влажность составляет 0,76%;
- объёмная масса – 2,73 г/см³;

Доломиты известняково-доломитовой толщи ($E_2 id$) северо-восточного примыкания ЗРТ (скважина №СРП-2) в отметках от $-565,0/м$ до $-598,3/м$ (Блок-Горизонт $-565/ -665/$) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 95,7 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 5,9 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 37,3 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 39,0°;
- влажность составляет 2,16%;
- объёмная масса – 2,68 г/см³;

Характеристика прочностных параметров и физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород известняково-доломитовой толщи ($E_2 id$) северо-восточного примыкания ЗРТ (скважина №СРП-2) в отметках от $-565,0/м$ до $-598,3/м$ (Блок-Горизонт $-565/ -665/$) месторождения трубки «Удачная» приведены в таблицах 3.25 и 3.26.

Таблица 3.25

Средние значения физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород известняково-доломитовой толщи ($E_2 id$) северо-восточного примыкания ЗРТ в отметках от /-565,0/м до /-598,3/м (Блок-Горизонт /-565/ – /-665/) месторождения трубки «Удачная»

	Влажность, % W	Объемная масса, г/см ³
<i>Известняково-доломитовая толща ($E_2 id$)</i>		
Известняки n=26	<u>0,18-1,44</u> 0,76	<u>2,71-2,75</u> 2,73
Доломиты n=25	<u>0,72-3,33</u> 2,16	<u>2,60-2,76</u> 2,68

Таблица 3.26

Средние значения прочностных свойств основных литологических разностей вмещающих пород известняково-доломитовой толщи ($E_2 id$) северо-восточного примыкания ЗРТ в отметках от /-565,0/м до /-598,3/м (Блок-Горизонт /-565/ – /-665/) месторождения трубки «Удачная»

	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа;	Предел прочности при растяжении, МПа;	Угол внутреннего трения, град,	Условное сцепление, МПа
<i>Известняково-доломитовая толща ($E_2 id$)</i>				
Известняки n=26	<u>80,4-131,5</u> 99,2	<u>6,4-8,1</u> 7,1	<u>37,1-38,8</u> 37,8	<u>26,7-52,7</u> 35,5
Доломиты n=25	<u>64,3-119,8</u> 95,7	<u>3,1-9,2</u> 5,9	<u>36,7-42,1</u> 39,0	<u>20,0-47,8</u> 37,3

Вмещающие породы межтрубочного пространства.

Изучение данного блока произведено по скважине №СРП-6, массив в данном блоке сложен литологическими разностями, охарактеризованными для предыдущего блока. Учитывая вышесказанное, характеристику основных показателей приведём для двух основных литологических разностей: известняка и доломита. Данный подход обеспечивает литологическую корреляцию изучаемых параметров в выделяемых блоках.

Известняк от светло-серого до серого, от скрытокристаллического до среднезернистого, массивный, на некоторых участках слоистый, полосчатый (рис. 3.41). В породе отмечаются стилолитовые швы, единичные мелкие и крупные каверны, на некоторых участках происходит объединение каверн в

сообщающиеся системы, до 30 % отмечаемых каверн, частично или полностью залечены кальцитом и глинистыми минералами, реже гипсом и солью. Трещиноватость пород изменчива – от слабой до сильной. Генезис трещин различный, отмечаются сингенетические и постгенетические трещины. Около 45 % трещин закрыты, заполнителем выступают минералы указанные выше. Известняки, различной степени доломитизированности, составляют порядка 80% толщи в данном блоке.



Рис. 3.41 Известняки *известняково-доломитовой толщи* (Є_2 *id*).

Доломит от светло-серого до тёмно-серого, от скрытокристаллического до мелкозернистого, слоистый на некоторых участках массивный (рис. 3.42). В породе отмечаются единичные стилолитовые швы, единичные мелкие и крупные каверны, до 40 % отмечаемых каверн залечены кальцитом и глинистыми минералами, реже гипсом и солью. Трещиноватость пород изменчива – от слабой до сильной. Генезис трещин различный, отмечаются сингенетические и постгенетические трещины. Около 30 % трещин закрыты, заполнителем выступают минералы указанные выше. Доломиты, различной степени известковистости, составляют порядка 20% описываемой толщи в данном блоке.



Рис. 3.42 Доломиты *известняково-доломитовой толщи* (Є_2 *id*).

Распределение модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу во вмещающих породах межтрубного пространства приведено в таблице 3.27.

Таблица 3.27

Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу во вмещающих породах межтрубного пространства (по скважине №СРП-6)

№ № ПП	Горизонт	Стратиграфическая принадлежность	Глубина по стволу скв., м	Глубина в абс. отм., м.	Литология	Средние величины	
						Модуль кусковатости	Модуль Трещин-ти
1	-465/-565	<i>Известняково-доломитовая толща (Є₂ id)</i>	3,7	-483,7	Известняк	5	8
2			10,2	-490,2	Доломит	9	10
3			21,2	-501,2	Известняк	7	6
4			23,9	-503,9	Доломит	9	9
5			30,9	-510,9	Известняк	7	9
6			33,5	-513,5	Доломит	3	6
7			36,9	-516,9	Известняк	3	14
8			44,7	-524,7	Доломит	7	7
9			48,0	-528	Известняк	8	4
10			53,0	-533	Доломит	6	7
11			68,0	-548	Известняк	6	6
12			85,0	-565	Доломит	6	5
13	-565/-665	<i>Известняково-доломитовая толща (Є₂ id)</i>	98,0	-578	Доломит	7	6
14			118,0	-598	Известняк	6	5
15			123,4	-603,4	Доломит	10	7

Графическая интерпретация распределения модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу в пределах Блока-Горизонта /-465/ – /-565/ во вмещающих породах межтрубного пространства в отметках залегания известняково-доломитовой толщи (Є₂ id), – рис. 3.43.

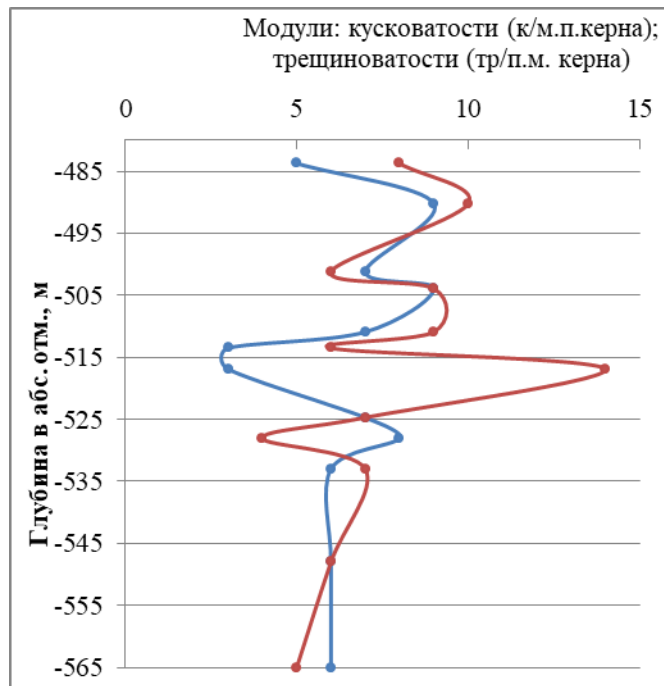


Рис. 3.43 Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу в пределах Блока-Горизонта /-465/ – /-565/ во вмещающих породах межтрубочного пространства в отметках залегания известняково-доломитовой толщи ($\epsilon_2 id$).

Графическая интерпретация распределения модулей кусковатости и трещиноватости во вмещающих породах межтрубочного пространства, в отметках залегания от /-565,0/м до /-603,4/м – рис. 3.44.

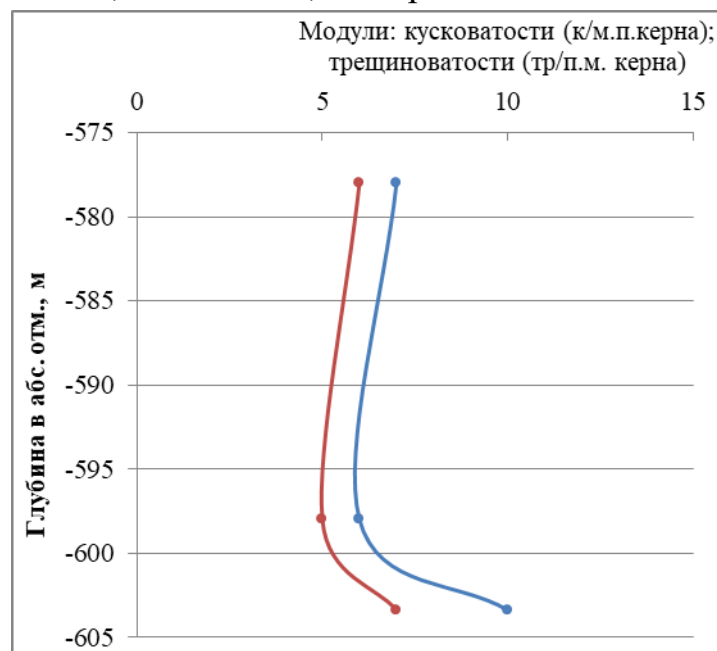


Рис. 3.44 Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу в пределах Блока-Горизонта /-565/ – /-665/ во вмещающих породах межтрубочного пространства в отметках залегания известняково-доломитовой толщи ($\epsilon_2 id$) от /-565,0/м до /-603,4/м.

Необходимо отметить, что описанные трещины в основной своей массе постгенетические, тектонические, субвертикальные, субгоризонтальные различной мощности. В целом данный массив можно отнести к III классу трещиноватости пород (64 %), за исключением некоторых интервалов суммарной мощностью 27,0 м (порядка 20 % от общей мощности толщи), которые относятся к II классу и интервалов суммарной мощностью 22,0 м (порядка 16 % от общей мощности толщи), которые относятся к IV классу.

Известняки известняково-доломитовой толщи (Є₂ id) межтрубчатого пространства (скважина №СРП-6) в отметках от /-480,0/м до /-565,0/м (Блок-Горизонт /-465/ – /-565/) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 77,7 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 5,3 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 29,8 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 38,4°;
- влажность составляет 1,31%;
- объёмная масса – 2,69 г/см³;

Доломиты известняково-доломитовой толщи (Є₂ id) межтрубчатого пространства (скважина №СРП-6) в отметках от /-480,0/м до /-565,0/м (Блок-Горизонт /-465/ – /-565/) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 90,7 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 5,6 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 36,4 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 38,0°;
- влажность составляет 0,86%;
- объёмная масса – 2,70 г/см³;

Характеристика прочностных параметров и физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород *известняково-доломитовой толщи (Є₂ id)* межтрубчатого пространства в отметках от /-480,0/м до /-565,0/м (Блок-Горизонт /-465/ – /-565/) месторождения трубки «Удачная» приведены в таблицах 3.28 и 3.29

Таблица 3.28

Средние значения физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород межтрубочного пространства известняково-доломитовой толщи ($C_2 id$) в отметках от $-480,0/м$ до $-565,0/м$ (Блок-Горизонт $-465/ - -565/$) месторождения трубки «Удачная»

	Влажность, % W	Объёмная масса, г/см ³
<i>Известняково-доломитовая толща ($C_2 id$)</i>		
Известняки n=60	<u>0,24-3,01</u> 1,31	<u>2,54-2,76</u> 2,69
Доломиты n=17	<u>0,28-2,50</u> 0,84	<u>2,54-2,75</u> 2,70

Таблица 3.29

Средние значения прочностных свойств основных литологических разностей вмещающих пород межтрубочного пространства известняково-доломитовой толщи ($C_2 id$) в отметках от $-480,0/м$ до $-565,0/м$ (Блок-Горизонт $-465/ - -565/$) месторождения трубки «Удачная»

	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа;	Предел прочности при растяжении, МПа;	Угол внутреннего трения, град,	Условное сцепление, МПа
<i>Известняково-доломитовая толща ($C_2 id$)</i>				
Известняки n=60	<u>46,7-114,5</u> 77,7	<u>2,4-8,2</u> 5,3	<u>33,1-44,1</u> 38,4	<u>15,4-50,6</u> 29,8
Доломиты n=17	<u>33,6-152,3</u> 90,7	<u>3,8-6,7</u> 5,6	<u>31,3-41,8</u> 38,0	<u>10,3-70,3</u> 36,4

Известняки известняково-доломитовой толщи ($C_2 id$) межтрубочного пространства (скважина №СРП-6) в отметках от $-565,0/м$ до $-603,4/м$ (Блок-Горизонт $-565/ - -665/$) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 90,8 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 6,9 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 32,7 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 37,1°;
- влажность составляет 0,92%;
- объёмная масса – 2,70 г/см³;

Доломиты известняково-доломитовой толщи ($C_2 id$) межтрубочного пространства (скважина №СРП-6) в отметках от $-565,0/м$ до $-603,4/м$ (Блок-Горизонт $-565/ - -665/$) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 90,9 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 5,5 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 35,7 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 38,8°;
- влажность составляет 1,12%;
- объёмная масса – 2,70 г/см³;

Характеристика прочностных параметров и физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород известняково-доломитовой толщи (Є₂ id) межтрубчатого пространства в отметках от /-565,0/м до /-603,4/м (Блок-Горизонт /-565/ – /-665/) месторождения трубки «Удачная» приведены в таблицах 3.30 и 3.31

Таблица 3.30

Средние значения физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород межтрубчатого пространства известняково-доломитовой толщи (Є₂ id) отметках от /-565,0/м до /-603,4/м (Блок-Горизонт /-565/ – /-665/) месторождения трубки «Удачная»

	Влажность, % W	Объёмная масса, г/см ³
<i>Известняково-доломитовая толща (Є₂ id)</i>		
Известняки n=20	<u>0,19-2,73</u> 0,92	<u>2,53-2,75</u> 2,70
Доломиты n=33	<u>0,49-2,78</u> 1,12	<u>2,64-2,74</u> 2,70

Таблица 3.31

Средние значения прочностных свойств основных литологических разностей вмещающих пород межтрубчатого пространства известняково-доломитовой толщи (Є₂ id) отметках от /-565,0/м до /-603,4/м (Блок-Горизонт /-565/ – /-665/) месторождения трубки «Удачная»

	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа;	Предел прочности при растяжении, МПа;	Угол внутреннего трения, град,	Условное сцепление, МПа
<i>Известняково-доломитовая толща (Є₂ id)</i>				
Известняки n=20	<u>54,2-123,5</u> 90,8	<u>5,6-7,5</u> 6,9	<u>33,2-39,3</u> 37,1	<u>16,5-48,1</u> 32,7
Доломиты n=33	<u>80,4-115,4</u> 90,9	<u>4,5-6,8</u> 5,5	<u>37,1-40,3</u> 38,8	<u>26,6-49,1</u> 35,7

Вмещающие породы северо-восточного примыкания ВРТ.

Изучение данного блока произведено по скважинам №СРП-3 и №СРП-4, массив в данном блоке сложен литологическими разностями, охарактеризованными для двух предыдущих блоков.

Учитывая вышесказанное, характеристику основных показателей, приведём для двух основных литологических разностей: известняка и доломита. Данный подход обеспечивает литологическую корреляцию изучаемых параметров в выделяемых блоках.

Доломит от светло-серого, почти белого, до тёмно-серого, от скрытокристаллического до мелкозернистого, слоистый на некоторых участках массивный (рис. 3.45). В породе отмечаются единичные стилолитовые швы, единичные мелкие и крупные каверны, до 20 % отмечаемых каверн залечены кальцитом и глинистыми минералами, реже гипсом и солью. Трещиноватость пород изменчива – от слабой до сильной. Генезис трещин различный, отмечаются сингенетические и постгенетические трещины. Около 20 % трещин закрыты, заполнителем выступают минералы указанные выше. Доломиты, различной степени известковистости составляют порядка 90 % описываемой толщи в данном блоке.



Рис. 3.45 Доломиты известняково-доломитовой толщи ($E_2 id$).

Известняк от светло-серого до серого и серо-коричневого, от скрытокристаллического до с/з, массивный, на некоторых участках слоистый, полосчатый (рис. 3.46). В породе отмечаются стилолитовые швы, единичные мелкие и крупные каверны, на некоторых участках происходит объединение каверн в сообщающиеся системы, до 30 % отмечаемых каверн, частично или полностью залечены кальцитом и глинистыми минералами, реже гипсом и

солю. Трещиноватость пород изменчива – от слабой до сильной. Генезис трещин различный, отмечаются сингенетические и постгенетические трещины. Около 15 % трещин закрыты, заполнителем выступают минералы указанные выше. Известняки, различной степени доломитизированности составляют порядка 10 % описываемой толщи в данном блоке.



Рис. 3.46 Известняки известняково-доломитовой толщи ($E_2 id$).

Распределение модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу во вмещающих породах северо-восточного примыкания ВРТ приведено в таблице 3.32.

Таблица 3.32

Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу во вмещающих породах северо-восточного примыкания ВРТ (по скважинам №СРП-3 и №СРП-4)

№№ ПП	Горизонт	Стратиграфическая принадлежность	Глубина по стволу скв., м	Глубина в абс. отм., м.	Литология	Средние величины	
						Модуль кусковатости	Модуль Трещин-ти
1	-465/-565	Известняково- доломитовая толща ($E_2 id$)	10,0	-475,0	Доломит	21	10
2			66,0	-531,0	Известняк доломитистый	25	17
3			89,8	-554,8	Доломит	17	7
4			100,0	-565,0	Известняк	18	6
5	-565/-665		105,7	-570,7	Известняк	25	16
6			115,3	-580,3	Доломит	18	7
7			125,3	-590,3	Доломит известковистый	23	12

Графическая интерпретация распределения модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу, в пределах Блока-Горизонта **/-465/ – /-565/**, во вмещающих породах северо-восточного примыкания ВРТ, в отметках залегания известняково-доломитовой толщи ($\text{Є}_2 \text{id}$), – рис 3.47.

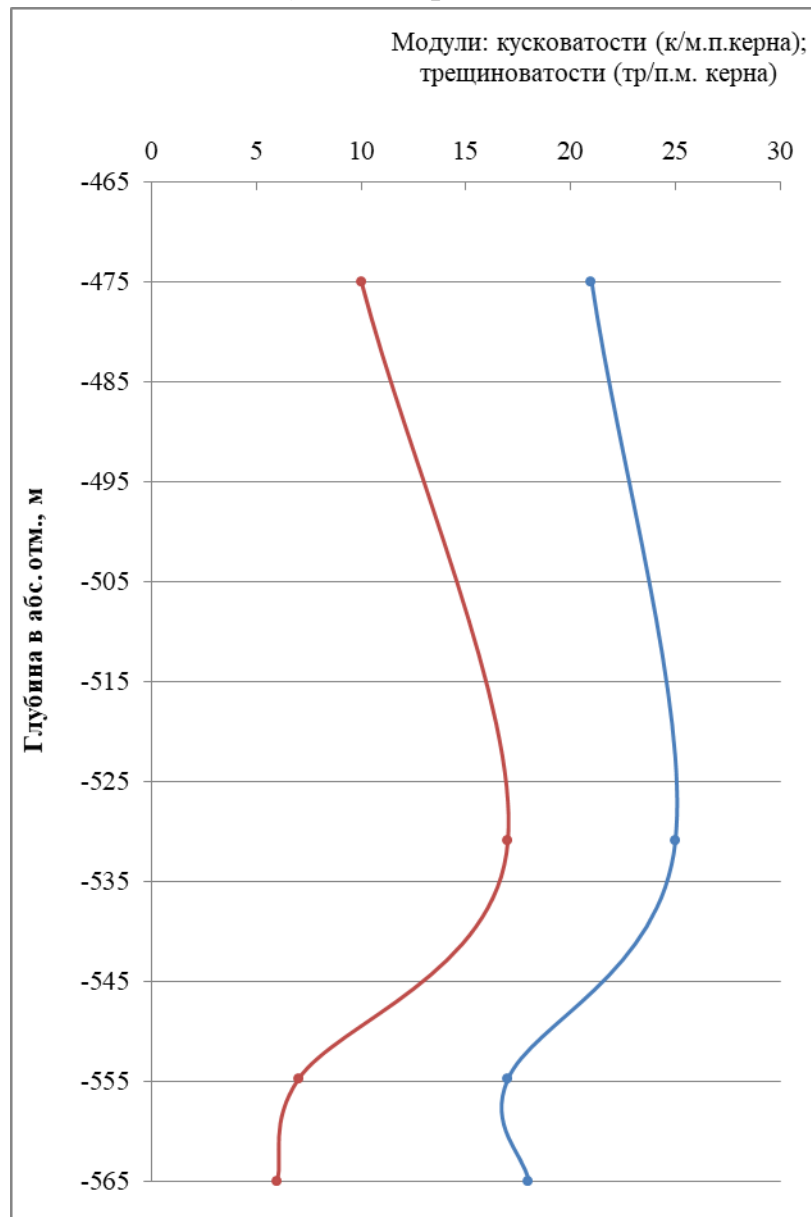


Рис. 3.47 Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу в пределах Блока-Горизонта **/-465/ – /-565/** во вмещающих породах северо-восточного примыкания ВРТ в отметках залегания известняково-доломитовой толщи ($\text{Є}_2 \text{id}$) (по скважинам №СРП-3 и №СРП-4).

Графическая интерпретация распределения модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу, **(Блок-Горизонт /-565/ – /-665/)**, во вмещающих породах северо-восточного примыкания ВРТ в отметках залегания известняково-доломитовой толщи ($\text{Є}_2 \text{id}$), от **/-565,0/м** до **/-590,3/м** – рис. 3.48.

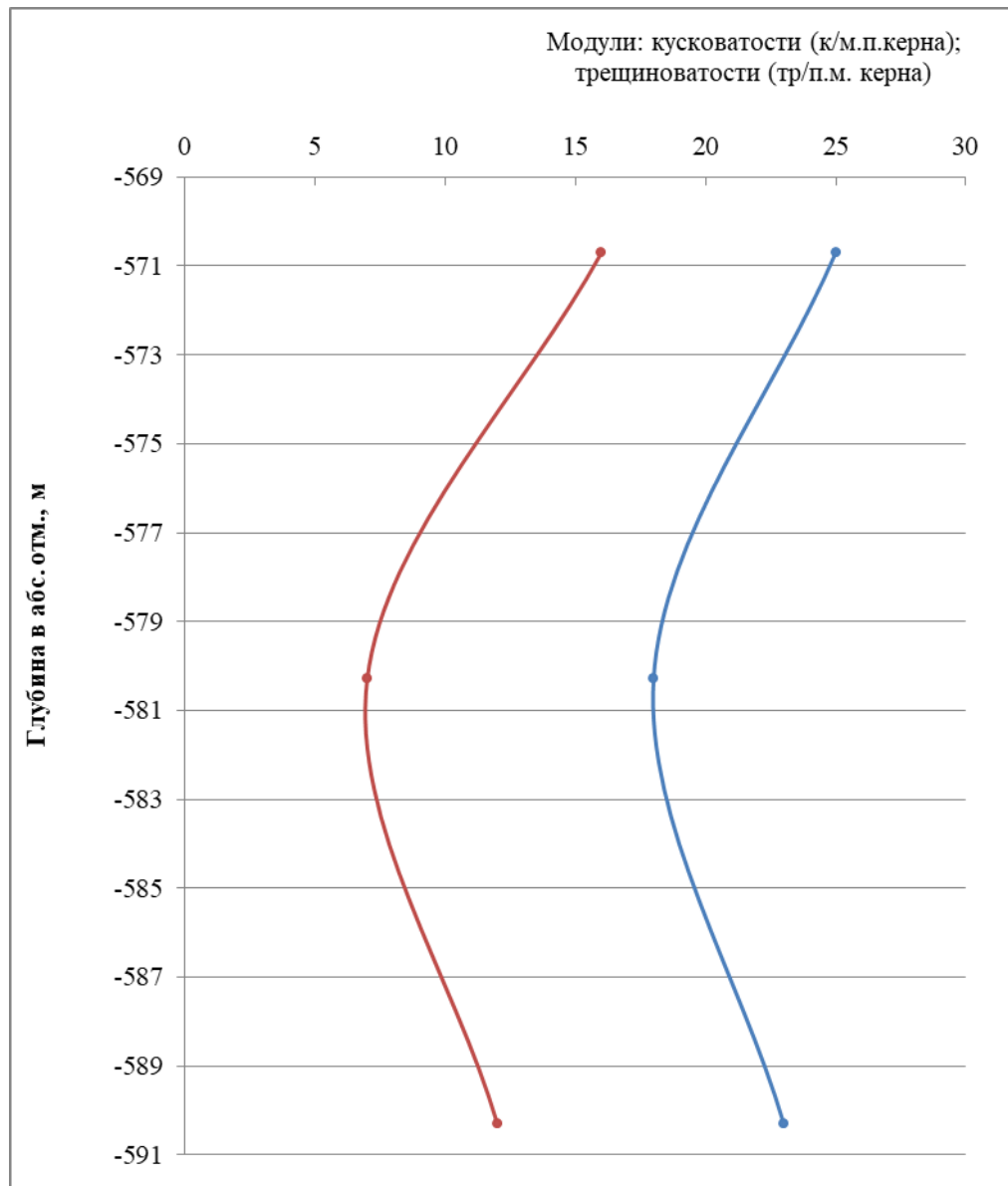


Рис. 3.48 Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу в пределах Блока-Горизонта /-565/ – /-665/ во вмещающих породах северо-восточного примыкания ВРТ в отметках залегания известняково-доломитовой толщи ($\text{Є}_2 \text{id}$) от /-565,0/м до /-590,3/м (по скважинам №СРП-3 и №СРП-4)

Необходимо отметить, что выделенные трещины в основной своей массе постгенетические, тектонические, субвертикальные, субгоризонтальные различной мощности. В целом описываемый массив можно отнести к III классу трещиноватости пород (81 %), за исключением некоторых интервалов суммарной мощностью 18,5 м (порядка 14 % от общей мощности толщи), которые относятся к IV классу и интервалов суммарной мощностью 6,5 м (порядка 5% от общей мощности толщи), которые относятся к II классу.

Известняки известняково-доломитовой толщи ($E_2 id$) северо-восточного примыкания ВРТ (скважины №СРП-3 и №СРП-4) в отметках от /-480,0/м до /-565,0/м (Блок-Горизонт /-465/ – /-565/) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 93,1 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 6,5 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 34,1 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 37,8°;
- влажность составляет 1,04%;
- объёмная масса – 2,71 г/см³;

Доломиты известняково-доломитовой толщи ($E_2 id$) северо-восточного примыкания ВРТ (скважины №СРП-3 и №СРП-4) в отметках от /-480,0/м до /-565,0/м (Блок-Горизонт /-465/ – /-565/) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 68,4 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 5,6 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 23,9 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 36,9°;
- влажность составляет 1,24%;
- объёмная масса – 2,69 г/см³;

Характеристика прочностных параметров и физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород *известняково-доломитовой толщи ($E_2 id$)* северо-восточного примыкания ВРТ в отметках от /-465,0/м до /-565,0/м (Блок-Горизонт /-465/ – /-565/) месторождения трубки «Удачная» приведены в таблицах 3.33 и 3.34

Таблица 3.33

Средние значения физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород северо-восточного примыкания ВРТ *известняково-доломитовой толщи ($E_2 id$)* в отметках от /-480,0/м до /-565,0/м (Блок-Горизонт /-465/ – /-565/) месторождения трубки «Удачная»

	Влажность, % W	Объёмная масса, г/см ³
<i>Известняково-доломитовая толща ($E_2 id$)</i>		
Известняки n=42	<u>0,36-2,82</u> 1,04	<u>2,50-2,76</u> 2,71
Доломиты n=90	<u>0,60-2,55</u> 1,24	<u>2,50-2,80</u> 2,64

Средние значения прочностных свойств основных литологических разностей вмещающих пород северо-восточного примыкания ВРТ известняково-доломитовой толщи ($\text{Є}_2 id$) в отметках от $-465,0/\text{м}$ до $-565,0/\text{м}$ (Блок-Горизонт $-465/ -565/$) месторождения трубки «Удачная»

	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа;	Предел прочности при растяжении, МПа;	Угол внутреннего трения, град,	Условное сцепление, МПа
<i>Известняково-доломитовая толща ($\text{Є}_2 id$)</i>				
Известняки n=61	$\frac{28,7-129,5}{93,12}$	$\frac{2,9-8,1}{6,52}$	$\frac{35,7-40,3}{37,81}$	$\frac{9,0-54,9}{34,13}$
Доломиты n=127	$\frac{32,8-120,0}{68,4}$	$\frac{2,5-10,0}{5,6}$	$\frac{31,3-40,9}{36,9}$	$\frac{10,9-44,0}{23,9}$

Известняки известняково-доломитовой толщи ($\text{Є}_2 id$) северо-восточного примыкания ВРТ (скважины №СРП-3 и №СРП-4) в отметках от $-565,0/\text{м}$ до $-590,3/\text{м}$ (Блок-Горизонт $-565/ -665/$) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 84,5 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 5,4 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 32,9 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 38,9°;
- влажность составляет 0,65%;
- объёмная масса – 2,73 г/см³;

Доломиты известняково-доломитовой толщи ($\text{Є}_2 id$) северо-восточного примыкания ВРТ (скважины №СРП-3 и №СРП-4) в отметках от $-565,0/\text{м}$ до $-590,3/\text{м}$ (Блок-Горизонт $-565/ -665/$) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 93,3 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 7,7 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 36,1 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 36,9°;
- влажность составляет 0,68%;
- объёмная масса – 2,70 г/см³;

Характеристика прочностных параметров и физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород известняково-доломитовой

толщи ($\text{Є}_2 id$) северо-восточного примыкания ВРТ (скважины №СРП-3 и №СРП-4) в отметках от $-565,0/м$ до $-590,3/м$ (Блок-Горизонт $-565/ - 665/$) месторождения трубки «Удачная» приведены в таблицах 3.35 и 3.36.

Таблица 3.35

Средние значения физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород северо-восточного примыкания ВРТ известняково-доломитовой толщи ($\text{Є}_2 id$) отметках от $-565,0/м$ до $-590,3/м$ (Блок-Горизонт $-565/ - 665/$) месторождения трубки «Удачная»

	Влажность, % W	Объёмная масса, г/см ³
<i>Известняково-доломитовая толща ($\text{Є}_2 id$)</i>		
Известняки n=15	<u>0,13-0,96</u> 0,65	<u>2,69-2,77</u> 2,73
Доломиты n=30	<u>0,23-1,20</u> 0,68	<u>2,60-2,75</u> 2,70

Таблица 3.36

Средние значения прочностных свойств основных литологических разностей вмещающих пород северо-восточного примыкания ВРТ известняково-доломитовой толщи ($\text{Є}_2 id$) отметках от $-565,0/м$ до $-590,3/м$ (Блок-Горизонт $-565/ - 665/$) месторождения трубки «Удачная»

	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа;	Предел прочности при растяжении, МПа;	Угол внутреннего трения, град,	Условное сцепление, МПа
<i>Известняково-доломитовая толща ($\text{Є}_2 id$)</i>				
Известняки n=25	<u>66,7-97,9</u> 84,5	<u>3,3-8,6</u> 5,4	<u>36,6-42,6</u> 38,9	<u>22,2-45,6</u> 32,9
Доломиты n=39	<u>62,2-140,8</u> 93,3	<u>2,8-9,8</u> 5,8	<u>18,4-43,0</u> 36,9	<u>22,8-50,7</u> 36,1

Анализируя приведенные данные, можно сделать следующие выводы:

1. Изучаемая толща в рамках выделенных блоков сложена преимущественно карбонатными породами нижнего палеозоя.

2. В целом изучаемый интервал известняково-доломитовой толщи в отм. $-465/м - 600/м$, не зависимо от блока расположения, можно отнести к III классу трещиноватости пород. Данный класс является доминирующим, породы, относящиеся к средне-трещиноватым, составляют в зависимости от блока от 64% до 81 %. При среднем 75 %.

3. Во всех трёх блоках были выделены интервалы пород, относящихся к IV классу трещиноватости. Суммарная мощность данных пород изменчива, и в

процентном соотношении составляет от 14 % до 21 %. При средней величине 17 %.

4. В двух блоках выделены интервалы пород, относящихся ко II классу трещиноватости. Суммарная мощность данных пород изменчива, в блоке расположения скважины №СРП-2 такие породы вовсе отсутствуют, и в процентном соотношении она составляет от 5 % до 20 %. При средней величине 8 %.

5. Отмечаемые трещины в основной своей массе постгенетические, тектонические, субвертикальные, субгоризонтальные различной мощности. 30% залечены (закрыты) глинистыми минералами, кальцитом, реже гипсом и солью.

6. В породе повсеместно отмечаются стилолитовые швы, единичные мелкие и крупные каверны, на некоторых участках происходит объединение каверн в сообщающиеся системы, до 35% отмечаемых каверн частично или полностью залечены кальцитом и глинистыми минералами, реже гипсом и солью.

7. Распределение физических и прочностных свойств по разрезу коррелируется с их литологическим составом. Минимумы на диаграммах приурочены к глинистым разностям, максимумы – к частично перекристаллизованным, метаморфизованным карбонатным породам.

3.6.2. Инженерно-геологическая характеристика пород удачинской свиты (С₁₋₂ иd)

Инженерно-геологическое изучение карбонатных и терригенно-карбонатных пород данной свиты проводилось по скважинам №№ СРП-2, СРП-3, СРП-4 и СРП-6, в отметках от (-600,0) до (-700,0) м, и по скважине № СГК-1 в отметках от (-749,4) до (-779,0) м. Данными опытными скважинами была исследована верхняя часть толщи, т.к. при общей мощности 470–480 м, опытный интервал составлял 170 м.

Плановое расположение скважин обеспечивает изучение вмещающих пород в северо-восточных примыканиях ЗРТ (скважина №СРП-2), ВРТ (скважины №СРП-3 и №СРП-4), в западном примыкании ВРТ в отметках /-749,4/ – /-779,0/ (скважина №СКГ-1) и межтрубочном пространстве (скважина №СРП-6). Охарактеризуем породы изучаемого интервала удачинской свиты с учётом планового расположения и литологических разностей.

Вмещающие породы северо-восточного примыкания ЗРТ.

Изучение данного блока произведено по скважине №СРП-2, массив представлен следующими толщами:

1. Толща бежевых, местами метаморфизованных известняков, образование которых связано как с изменением литолого-фациальных, температурных

условий осадконакопления так и с дальнейшим развитием данных пород вместе с изучаемым участком в рамках происходящих глобальных и региональных геологических процессов.

2. Толща светло-серых до серых карбонатных пород изоморфного ряда замещения: известняк → доломит. Изначально толща, сложенная преимущественно известняками, претерпела процессы замещения (вторичной доломитизации), с появлением доломитистых и доломитовых разностей известняка, известкового и известковистого доломита и полноценного доломита.

С учётом указанных изменений, оказавших значительное влияние на инженерно-геологические свойства пород, характеристику основных показателей, приведём для трёх главных литологических разностей: известняка, доломита и известняка метаморфизованного.

Известняк от светло-бежевого до бежевого, разной степени метаморфизации, от скрытокристаллического до мелкозернистого, массивный, плотный, крепкий (рис. 3.49). В породе отмечаются единичные мелкие и крупные каверны, на некоторых участках происходит объединение каверн в сообщающиеся системы, до 10% отмечаемых каверн залечены кальцитом и глинистыми минералами, реже гипсом, ангидритом и солью. Трещиноватость пород изменчива – от слабой до сильной. Генезис трещин различный, отмечаются сингенетические и постгенетические. Около 15 % трещин закрыты, заполнителем выступают минералы указанные выше. Известняки, различной степени метаморфизованности, составляют порядка 85 % описываемой толщи в данном блоке



Рис. 3.49 Бежевые известняки удачининской свиты (C_{1-2} ud).

Известняк от светло-серого до серого, от скрытокристаллического до среднезернистого, массивный, на некоторых участках слоистый, полосчатый (рис. 3.50). В породе отмечаются стилолитовые швы, единичные мелкие и крупные каверны, на некоторых участках происходит объединение каверн, в сообщающиеся системы, до 30 % отмечаемых каверн залечены кальцитом и глинистыми минералами, реже гипсом и солью. Трещиноватость пород изменчива – от слабой до сильной. Генезис трещин различный, отмечаются сингенетические и постгенетические. Около 25 % трещин закрыты, заполнителем выступают минералы указанные выше. Известняки, различной степени доломитизированности, составляют порядка 10 % описываемой толщи в данном блоке.



Рис. 3.50 Светло-серые до серых известняки *удачнинской свиты* (ϵ_{1-2} *ud*).

Доломит серый, от скрытокристаллического до мелкозернистого, слоистый на некоторых участках массивный (рис. 3.51). В породе отмечаются единичные стилолитовые швы, каверн не отмечено. Трещиноватость пород изменчива – от слабой до сильной. Генезис трещин различный, отмечаются сингенетические и постгенетические. Около 25 % трещин закрыты, заполнителем выступают минералы указанные выше. Доломиты, различной степени известковистости, составляют порядка 5 % описываемой толщи в данном блоке.



Рис. 3.51 Серые доломиты *удачнинской свиты* (ϵ_{1-2} *ud*).

Распределение модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу во вмещающих породах северо-восточного примыкания ЗРТ, в отметках, сложенных породами удачининской свиты, приведено в таблице 3.37.

Таблица 3.37

Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу во вмещающих породах северо-восточного примыкания ЗРТ (по скв. №СРП-2)

№ № ПП	Горизонт	Стратиграфическая принадлежность	Глубина по стволу скв., м	Глубина в абс. отм., м.	Литология	Средние величины	
						Модуль кусковатости	Модуль Трещин-ти
1	-565/-665	<i>Удачининская свита (Є₁₋₂ ud)</i>	142,5	-607,5	Доломит	15	7
2			153,3	-618,3	Известняк	15	4
3			163,5	-628,5	Известняк	14	5
4			172,6	-637,6	Известняк	17	4
5			186,0	-651,0	Известняк	15	5
6			205,0	-670,0	Известняк	30	7
7			222,0	-687,0	Известняк	27	10
8			235,4	-700,4	Известняк	15	5

Графическая интерпретация распределения модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу, в пределах Блока-Горизонта **/-565/ – /-665/**, во вмещающих породах северо-восточного примыкания ЗРТ в отметках залегания *удачнинской свиты (Є₁₋₂ ud)*, от **/-598,3/м** до **/-700,0/м** – рис. 3.52.

Необходимо отметить, что выделяемые трещины в основной своей массе постгенетические, тектонические, субвертикальные, субгоризонтальные различной мощности. В целом описываемый массив можно полностью отнести к III классу трещиноватости пород (100 %).

Известняки удачининской свиты (Є₁₋₂ ud) северо-восточного примыкания ЗРТ в отм **/-598,3/м- /-700,0/м (Блок-Горизонт /-565/-/-665/)** трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными и физическими параметрами:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 92,8 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 4,6 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 39,7 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 40,1°;
- влажность составляет 0,23%;
- объёмная масса – 2,69 г/см³;

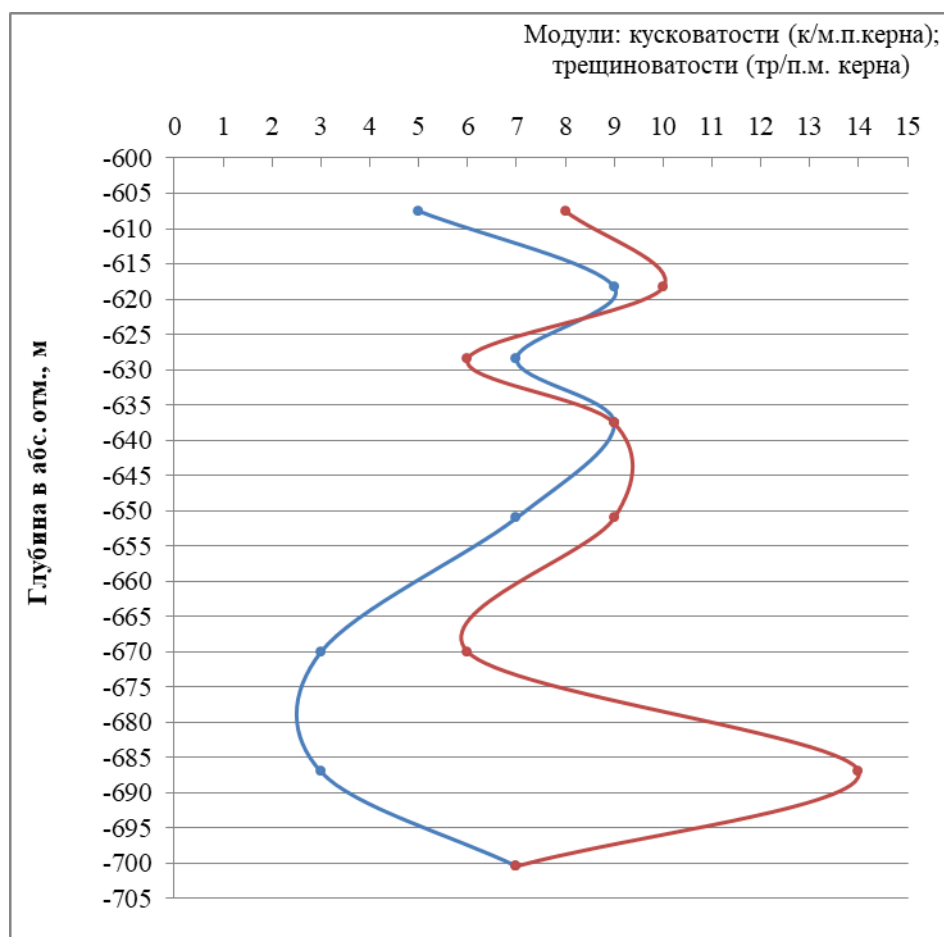


Рис. 3.52 Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу в пределах Блока-Горизонта /-565/ – /-665/ во вмещающих породах северо-восточного примыкания ЗРТ в отметках залегания удачинской свиты ($\text{Є}_{1-2 \text{ ud}}$), от /-598,3/м до /-700,0/м.

Доломиты удачинской свиты ($\text{Є}_{1-2 \text{ ud}}$) северо-восточного примыкания ЗРТ (скважина №СРП-2) в отметках от /-598,3/м до /-700,0/м (Блок-Горизонт /-565/ – /-665/) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 78,7 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 5,1 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 30,2 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 38,3°;
- влажность составляет 0,68%;
- объёмная масса – 2,69 г/см³;

Характеристика прочностных параметров и физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород удачинской свиты ($\text{Є}_{1-2 \text{ ud}}$) северо-восточного примыкания ЗРТ (скважина №СРП-2) в отметках от /-598,3/м до /-700,0/м (Блок-Горизонт /-565/ – /-665/) месторождения трубки «Удачная» приведены в таблицах 3.38 и 3.39.

Таблица 3.38

Средние значения физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород *удачнинской свиты* (ϵ_{1-2} *ud*) северо-восточного примыкания ЗРТ (скважина №СРП-2) в отметках от $-598,3/м$ до $-700,0/м$ (**Блок-Горизонт $-565/ - /-665/$**) месторождения трубки «Удачная»

	Влажность, % W	Объёмная масса, г/см ³
<u>Удачинская свита (ϵ_{1-2} <i>ud</i>)</u>		
Известняки n=26	<u>0,15-0,39</u> 0,23	<u>2,68-2,70</u> 2,69
Доломиты n=118	<u>0,10-2,94</u> 0,68	<u>2,64-2,77</u> 2,69

Таблица 3.39

Средние значения прочностных свойств основных литологических разностей вмещающих пород *удачнинской свиты* (ϵ_{1-2} *ud*) северо-восточного примыкания ЗРТ (скважина №СРП-2) в отметках от $-598,3/м$ до $-700,0/м$ (**Блок-Горизонт $-565/ - /-665/$**) месторождения трубки «Удачная»

	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа;	Предел прочности при растяжении, МПа;	Угол внутреннего трения, град,	Условное сцепление, МПа
<u>Удачинская свита (ϵ_{1-2} <i>ud</i>)</u>				
Известняки n=26	<u>77,3-114,7</u> 92,8	<u>4,0-5,0</u> 4,6	<u>38,7-42,1</u> 40,1	<u>30,7-54,3</u> 39,7
Доломиты n=118	<u>30,1-108,4</u> 78,7	<u>3,5-7,9</u> 5,1	<u>32,4-41,9</u> 38,3	<u>9,1-49,1</u> 30,2

Вмещающие породы межтрубного пространства.

Изучение данного блока произведено по скважине №СРП-6, массив представлен толщей светло-серых до серых карбонатных пород изоморфного ряда замещения: известняк → доломит. Изначально толща, сложенная преимущественно известняками, претерпела процессы замещения (вторичной доломитизации), с появлением доломитистых и доломитовых разностей известняка, известкового и известковистого доломита и полноценного доломита. Учитывая, что данные изменения не сильно сказались на инженерно-геологических свойствах пород, то характеристику основных показателей, приведём для двух основных литологических разностей: известняка и доломита.

Известняк от светло-серого до серого, скрытокристаллический, массивный, на некоторых участках слоистый, пологоволнистый (рис. 3.53). В породе отмечаются единичные мелкие и крупные каверны, на некоторых участках происходит объединение каверн в сообщающиеся системы, до 30 % отмечаемых каверн, частично или полностью залечены кальцитом и глинистыми минералами, реже гипсом и солью.



Рис. 3.53 Известняки *удачнинской свиты* (ϵ_{1-2} *ud*).

Трещиноватость пород изменчива – от слабой до сильной. Генезис трещин различный, отмечаются сингенетические и постгенетические трещины.

Около 35 % трещин закрыты, заполнителем выступают минералы указанные выше. Известняки, различной степени доломитизированности, составляют порядка 40 % описываемой толщи в данном блоке (рис. 3.54).



Рис. 3.54 Доломиты *удачнинской свиты* (ϵ_{1-2} *ud*).

Распределение модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу во вмещающих породах межтрубного пространства, в отметках, сложенных породами *удачнинской свиты*, приведено в таблице 3.40.

Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу во вмещающих породах межтрубного пространства (по скважине №СРП-6)

№ № ПП	Горизонт	Стратиграфическая принадлежность	Глубина по стволу скв., м	Глубина в абс. отм., м.	Литология	Средние величины	
						Модуль кусковатости	Модуль Трещин-ти
1	-565/-665	<i>Удачинская свита (Є₁₋₂ ud)</i>	138,0	-618,0	Доломит	9	6
2			154,0	-634,0	Известняк	7	7
3			158,0	-638,0	Доломит	7	4
4			200,0	-680,0	Известняк	8	7
5			220,5	-700,5	Доломит	6	6

Графическая интерпретация распределения модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу, в пределах Блока-Горизонта **/-565/ – /-665/** во вмещающих породах межтрубного пространства в отметках залегания *удачинской свиты (Є₁₋₂ ud)*, от **-603,4/м** до **-700,0/м** – рис. 3.55.

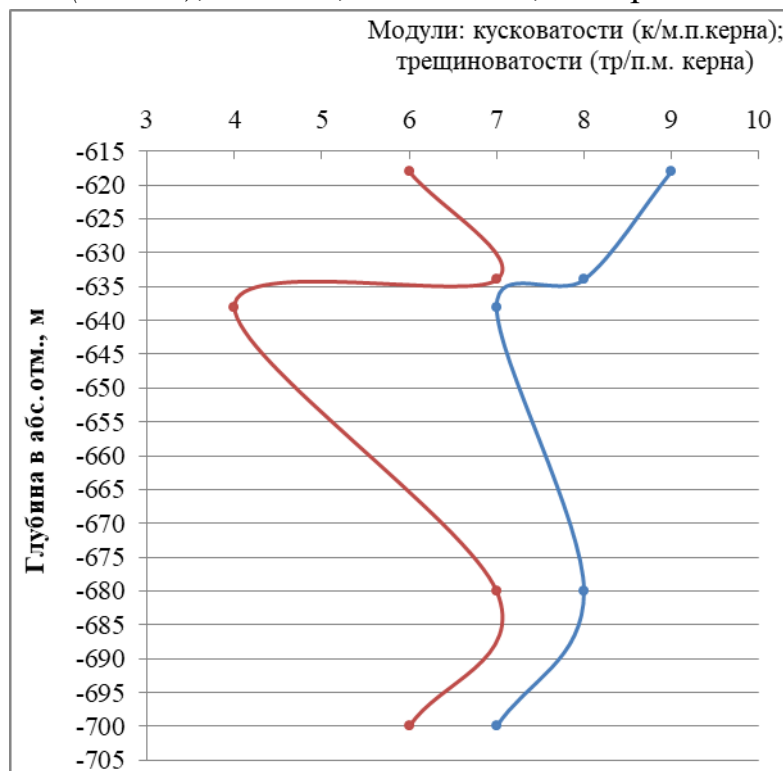


Рис. 3.55. Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу в пределах Блока-Горизонта **/-565/ – /-665/** во вмещающих породах межтрубного пространства в отметках *удачинской свиты (Є₁₋₂ ud)*, от **-603,4/м** до **-700,0/м**.

Необходимо отметить, что выделенные трещины в основной своей массе постгенетические, тектонические, субвертикальные, субгоризонтальные различной мощности. В целом описываемый массив можно отнести к III классу трещиноватости пород (59 %), за исключением некоторых интервалов суммарной мощностью 41,0 м (порядка 41 % от общей мощности толщи), которые относятся к IV классу.

Известняки удачинской свиты (ϵ_{1-2} ud) межтрубочного пространства (скважина №СРП-6) в отметках от $-603,4/м$ до $-700,0/м$ (**Блок-Горизонт $-565/ -665/$**) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 86,2 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 6,6 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 30,5 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 37,3°;
- влажность составляет 1,33%;
- объёмная масса – 2,70 г/см³;

Доломиты удачинской свиты (ϵ_{1-2} ud) межтрубочного пространства (скважина №СРП-6) в отметках от $-603,4/м$ до $-700,0/м$ (**Блок-Горизонт $-565/ -665/$**) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 84,1 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 6,2 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 30,3 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 37,8°;
- влажность составляет 0,90%;
- объёмная масса – 2,72 г/см³;

Характеристика прочностных параметров и физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород удачинской свиты (ϵ_{1-2} ud) межтрубочного пространства приведены в таблицах 3.41 и 3.42.

Таблица 3.41

Средние значения физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород удачинской свиты (ϵ_{1-2} ud) межтрубочного пространства в отметках от $-603,4/м$ до $-700,0/м$

	Влажность, % W	Объёмная масса, г/см ³
<u>Удачинская свита (ϵ_{1-2} ud)</u>		
Известняки n=50	<u>0,15-3,96</u> 1,33	<u>2,62-2,75</u> 2,70
Доломиты n=35	<u>0,13-2,56</u> 0,90	<u>2,66-2,77</u> 2,72

Средние значения прочностных свойств основных литологических разностей вмещающих пород *удачнинской свиты* ($\epsilon_{1-2 \text{ уд}}$) межтрубного пространства (скважина №СРП-6) в отметках от $-603,4/\text{м}$ до $-700,0/\text{м}$ (**Блок-Горизонт $-565/ -665/$**) месторождения трубки «Удачная»

	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа;	Предел прочности при растяжении, МПа;	Угол внутреннего трения, град,	Условное сцепление, МПа
<u>Удачинская свита ($\epsilon_{1-2 \text{ уд}}$)</u>				
Известняки n=50	$\frac{75,6-162,7}{86,2}$	$\frac{4,2-8,9}{6,6}$	$\frac{32,1-39,0}{37,3}$	$\frac{17,3-57,1}{30,5}$
Доломиты n=35	$\frac{46,1-116,5}{84,1}$	$\frac{3,7-8,7}{6,2}$	$\frac{35,8-42,4}{37,8}$	$\frac{14,9-49,2}{30,3}$

Вмещающие породы западного примыкания ВРТ (зона эндо- и экзоконтактов).

Изучение данного блока в отметках от $(-749,4)$ до $(-779,0)$ произведено по скважине №СГК-1, массив представлен следующими толщами:

1. Карбонатная брекчия светло-серого цвета, крупнообломочная.
2. Толща известняков белых, скрытозернистых, массивных.
3. Толща бежевых, местами метаморфизованных известняков, образование которых связано как с изменением литолого-фациальных, температурных условий осадконакопления, так и с дальнейшим развитием данных пород вместе с изучаемым участком в рамках происходящих глобальных и региональных геологических процессов.

Приведём характеристику основных показателей, для выделенных литологических разностей.

Карбонатная брекчия светло-серого цвета, структура крупнообломочная, текстура брекчиевая (рис. 3.56). Обломки осадочных пород представлены известняками и доломитами от белого до темно-коричневого цвета. Форма обломков разная – от угловатой до округло-вытянутой, размер 0,5–20 см в поперечнике. Основная масса на карбонатном цементе светло-серого цвета. Каверн в породе не отмечено. Трещиноватость пород изменчива – от слабой до средней. Генезис трещин различный, отмечаются сингенетические и постгенетические трещины. Около 5 % трещин закрыты, заполнителем выступают глинистые минералы, кальцит и гипс. Карбонатная брекчия составляет порядка 66 % описываемой толщи в данном блоке.



Рис. 3.56 Карбонатная брекчия удачинской свиты ($Є_{1-2}$ id).

Известняк белого цвета, структура скрытозернистая, текстура массивная. Каверн в породе не отмечено (рис. 3.57). Трещиноватость пород изменчива – от средней до сильной. Генезис трещин различный, отмечаются сингенетические и постгенетические трещины. Около 15 % трещин закрыты, заполнителем выступают глинистые минералы, кальцит и гипс. Белые известняки, составляют порядка 23 % описываемой толщи в данном блоке.



Рис. 3.57 Известняк белого цвета удачинской свиты ($Є_{1-2}$ id).

Известняк от светло-бежевого до бежевого, разной степени метаморфизации, от скрытокристаллического до среднезернистого, массивный, плотный, крепкий (рис. 3.58). В породе отмечаются единичные мелкие и крупные каверны, на некоторых участках происходит объединение каверн в сообщающиеся системы, до 50 % отмечаемых каверн залечены кальцитом и глинистыми минералами, реже гипсом, ангидритом и солью. Трещиноватость пород изменчива – от слабой до сильной. Генезис трещин различный, отмечаются сингенетические и постгенетические трещины. Около 45 % трещин закрыты, заполнителем выступают минералы указанные выше. Известняки, различной степени метаморфизованности, составляют порядка 11 % описываемой толщи в данном блоке.



Рис. 3.58 Бежевый известняк удачининской свиты ($Є_{1-2} ud$).

Распределение модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу во вмещающих породах западного примыкания ВРТ (зона эндо- и экзоконтактов), в отметках,, сложенных породами удачининской свиты, приведено в таблице 3.43.

Таблица 3.43

Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу во вмещающих породах западного примыкания ВРТ (зона эндо- и экзоконтактов)

№ № ПП	Горизонт	Стратиграфическая принадлежность	Глубина по стволу скв., м	Глубина в абс. отм., м.	Литология	Средние величины	
						Модуль кусковатости	Модуль Трещин-ти
1	-565/-665	Удачининская свита ($Є_{1-2} ud$)	287,2	-752,2	Известняк	6	7
2			306,8	-771,8	Карбонатная брекчия	7	9
3			314,0	-779,0	Известняк	6	8

Графическая интерпретация распределения модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу в пределах Блока-Горизонта **/-565/ – /-665/** во вмещающих породах западного примыкания ВРТ (зона эндо- и экзоконтактов), в отметках залегания удачининской свиты ($Є_{1-2} ud$), от **/-749,4/м** до **/-779,0/м** – рис. 3.59.

Необходимо отметить, что выделенные трещины в основной своей массе постгенетические, тектонические, субвертикальные, субгоризонтальные различной мощности. В целом описываемый массив можно отнести к III классу трещиноватости пород (77 %), за исключением некоторых интервалов суммарной мощностью 7,0 м (порядка 23 % от общей мощности толщи), которые относятся к IV классу.

Приведём полученные физико-механические параметры основных литологических разностей данного блока:

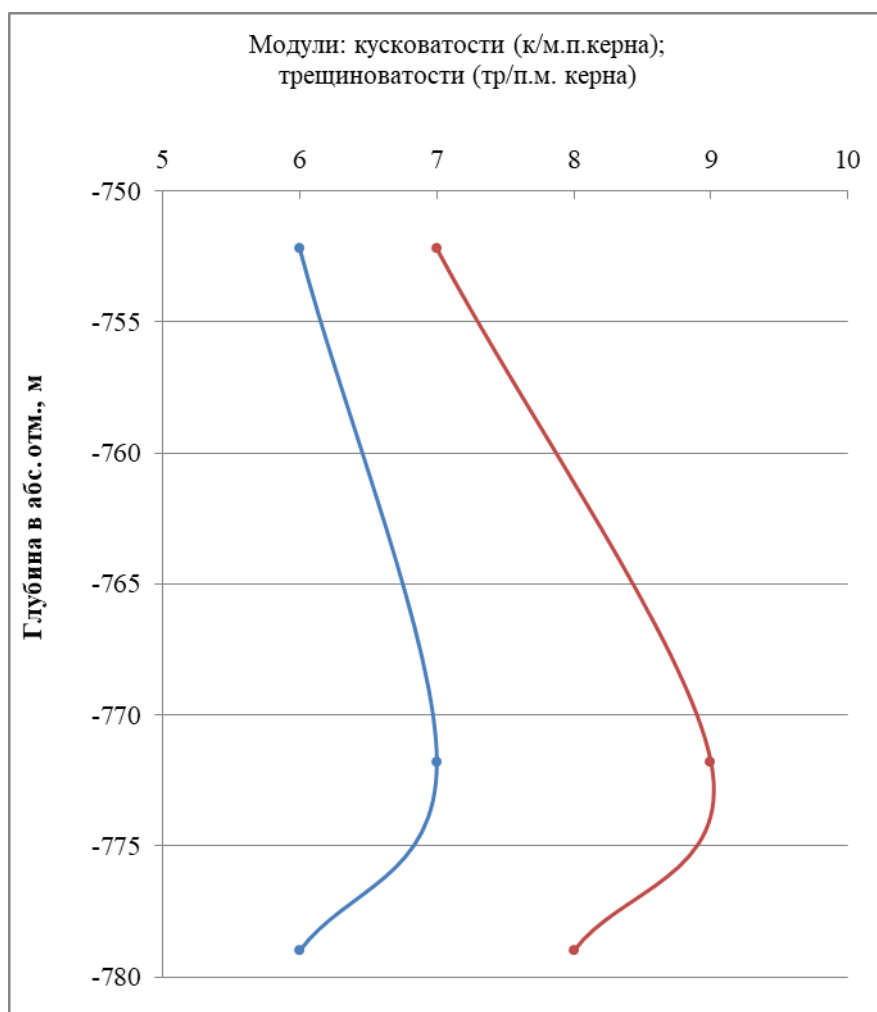


Рис. 3.59 Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу в пределах Блока-Горизонта /-565/ – /-665/ во вмещающих породах западного примыкания ВРТ (зона эндо- и экзоконтактов), в отметках залегания удачининской свиты (C_{1-2} ud) от /-749,4/м до /-779,0/м (по скважине №СГК-1).

Известняки удачининской свиты (C_{1-2} ud) западного примыкания ВРТ (зона эндо- и экзоконтактов) (скважина №СГК-1) в отметках от /-749,4/м до /-779,0/м (**Блок-Горизонт /-565/ – /-665/**) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 65,0 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 3,4 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 26,9 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 39,6°;
- влажность составляет 0,24%;
- объёмная масса – 2,68 г/см³;

Карбонатная брекчия удачининской свиты (C_{1-2} ud) западного примыкания ВРТ (зона эндо- и экзоконтактов) (скважина №СГК-1) в отметках от /-749,4/м до

*/-779,0/м (Блок-Горизонт */-565/ – /-665/*)* месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 63,9 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 3,2 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 28,9 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 40,5°;
- влажность составляет 1,25%;
- объёмная масса – 2,66 г/см³;

Характеристика прочностных параметров и физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород *удачнинской свиты (Є₁₋₂ ud)* западного примыкания ВРТ (зона эндо- и экзоконтактов) (скважина №СГК-1) в отметках *от /-749,4/м до /-779,0/м (Блок-Горизонт */-565/ – /-665/*)* месторождения трубки «Удачная» приведены в таблицах 3.44 и 3.45.

Таблица 3.44

Средние значения физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород *удачнинской свиты (Є₁₋₂ ud)* западного примыкания ВРТ (зона эндо- и экзоконтактов) (скважина №СГК-1) в отметках *от /-749,4/м до /-779,0/м (Блок-Горизонт */-565/ – /-665/*)* месторождения трубки «Удачная»

	Влажность, % W	Объёмная масса, г/см ³
<i>Удачинская свита (Є₁₋₂ ud)</i>		
Известняки n=10	<u>0,14-0,35</u> 0,24	<u>2,67-2,70</u> 2,68
Карбонатная брекчия n=22	<u>0,64-1,54</u> 1,25	<u>2,63-2,67</u> 2,66

Таблица 3.45

Средние значения прочностных свойств основных литологических разностей вмещающих пород *удачнинской свиты (Є₁₋₂ ud)* западного примыкания ВРТ (зона эндо- и экзоконтактов) (скважина №СГК-1) в отметках *от /-749,4/м до /-779,0/м (Блок-Горизонт */-565/ – /-665/*)* месторождения трубки «Удачная»

	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа;	Предел прочности при растяжении, МПа;	Угол внутреннего трения, град,	Условное сцепление, МПа
<i>Удачинская свита (Є₁₋₂ ud)</i>				
Известняки n=10	<u>55,6-74,4</u> 65,0	<u>3,1-3,7</u> 3,4	<u>38,9-40,2</u> 39,6	<u>22,4-31,4</u> 26,9
Карбонатная брекчия n=22	<u>43,3-87,0</u> 63,9	<u>1,6-4,6</u> 3,2	<u>37,8-45,0</u> 40,5	<u>15,6-38,9</u> 28,9

Вмещающие породы северо-восточного примыкания ВРТ.

Изучение данного блока произведено по скважинам №СРП-3 и №СРП-4, массив представлен следующими толщами:

1. Толща бежевых, местами метаморфизованных известняков, образование которых связано как с изменением литолого-фациальных, температурных условий осадконакопления, так и с дальнейшим развитием данных пород вместе с изучаемым участком в рамках происходящих глобальных и региональных геологических процессов.

2. Толща светло-серых до серых карбонатных пород, изоморфного ряда замещения: известняк → доломит. Изначально толща, сложенная преимущественно известняками, претерпела процессы замещения (вторичной доломитизации), с появлением известкового и известковистого доломита и полноценного доломита.

С учётом указанных изменений, оказавших значительное влияние на инженерно-геологические свойства пород, характеристику основных показателей, приведём для двух основных литологических разностей: доломита и известняка метаморфизованного.

Известняк от светло-бежевого до бежевого, разной степени метаморфизации, от скрытокристаллического до среднезернистого, массивный, плотный, крепкий (рис. 3.60). В породе отмечаются единичные мелкие и крупные каверны, на некоторых участках происходит объединение каверн в сообщающиеся системы, до 50 % отмечаемых каверн залечены кальцитом и глинистыми минералами, реже гипсом, ангидритом и солью. Трещиноватость пород изменчива – от слабой до сильной. Генезис трещин различный, отмечаются сингенетические и постгенетические трещины. Около 45 % трещин закрыты, заполнителем выступают минералы указанные выше. Известняки, различной степени метаморфизованности, составляют порядка 85 % описываемой толщи в данном блоке.



Рис. 3.60 Известняки удачинской свиты (Є_{1-2} ud).

Доломит серый, от скрытокристаллического до мелкозернистого, слоистый, на некоторых участках массивный (рис. 3.61). В породе отмечаются единичные стилолитовые швы, единичные мелкие и крупные каверны, на некоторых участках происходит объединение каверн в сообщающиеся системы, до 30 %

отмечаемых каверн залечены кальцитом и глинистыми минералами, реже гипсом, ангидритом и солью. Трещиноватость пород изменчива – от слабой до сильной. Генезис трещин различный, отмечаются сингенетические и постгенетические трещины. Около 25 % трещин закрыты, заполнителем выступают минералы указанные выше. Доломиты, различной степени известковистости, составляют порядка 15 % описываемой толщи в данном блоке.



Рис. 3.61 Доломиты удачинской свиты (ϵ_{1-2} ud).

Распределение модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу во вмещающих породах северо-восточного примыкания ВРТ приведено в табл. 3.46.

Таблица 3.46

Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу во вмещающих породах северо-восточного примыкания ВРТ

№ п/п	Горизонт	Стратиграфическая принадлежность	Глубина по стволу скв., м	Глубина в абс. отм., м.	Литология	Средние величины	
						Модуль кусковатости	Модуль Трещин-ти
1	-565/-665	<i>Удачинская свита (ϵ_{1-2} ud)</i>	128,2	-593,2	Известняк	20	10
2			132,1	-597,1	Доломит	19	14
3			140,2	-605,2	Известняк	21	10
4			167,0	-632,0	Доломит	20	11
5			219,7	-684,7	Известняк	22	16
6			235,4	-700,4	Доломит	19	9

Графическая интерпретация распределения модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу, в пределах Блока-Горизонта **/-565/ – /-665/** во вмещающих породах северо-восточного примыкания ВРТ, в отметках залегания удачинской свиты (ϵ_{1-2} ud), от **/-590,3/м** до **/-700,0/м** – рис. 3.62.

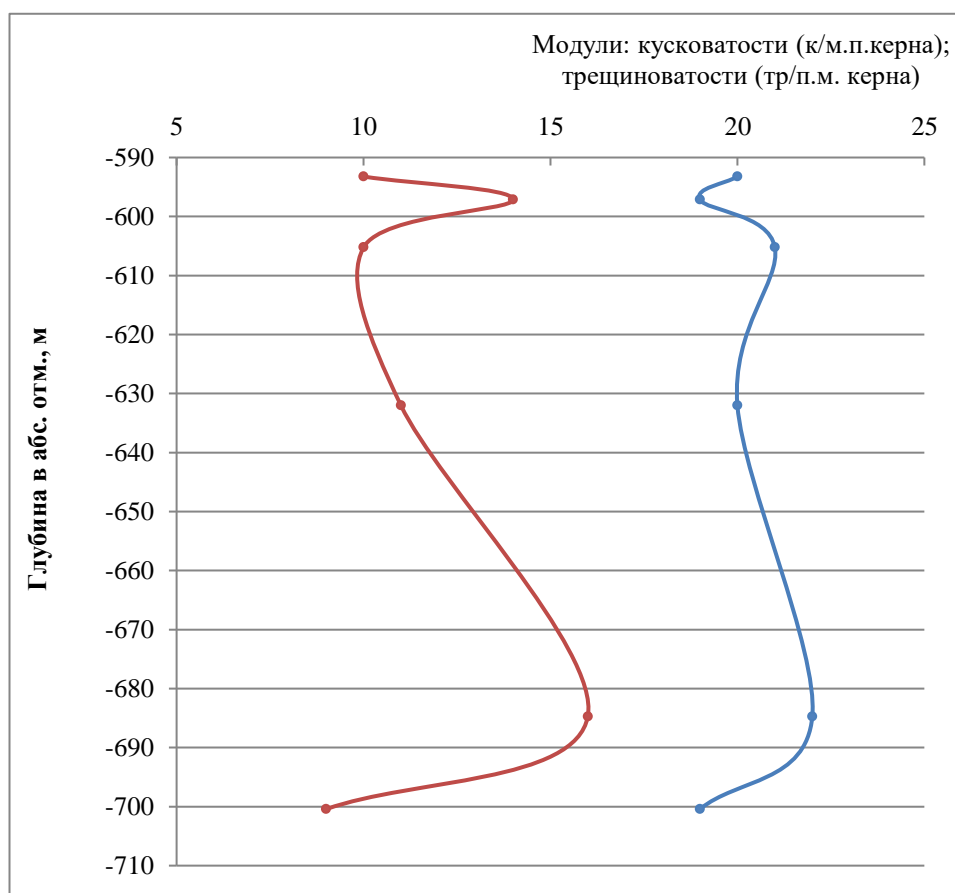


Рис. 3.62 Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу в пределах Блока-Горизонта /-565/ – /-665/ во вмещающих породах северо-восточного примыкания ВРТ, в отметках залегания удачининской свиты (ϵ_{1-2} ud), от /-590,3/м (по скважинам №СРП-3 и №СРП-4)

Необходимо отметить, что выделенные трещины в основной своей массе постгенетические, тектонические, субвертикальные, субгоризонтальные различной мощности. В целом описываемый массив можно полностью отнести к III классу трещиноватости пород (100%).

Известняки удачининской свиты (ϵ_{1-2} ud) северо-восточного примыкания ВРТ (скважины №СРП-3 и №СРП-4) в отметках от /-590,3/м до /-700,0/м (**Блок-Горизонт /-565/ – /-665/**) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 77,3 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 5,1 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 29,9 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 38,5°;
- влажность составляет 0,56%;
- объёмная масса – 2,72 г/см³;

Доломиты удачининской свиты (ϵ_{1-2} ud) северо-восточного примыкания ВРТ (скважины №СРП-3 и №СРП-4) в отметках от /-590,3/м до /-700,0/м (**Блок-**

Горизонт /-565/ – /-665/) месторождения трубки «Удачная» характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 87,6 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 5,3 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 34,1 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 39,1°;
- влажность составляет 0,91%;
- объёмная масса – 2,73 г/см³;

Характеристика прочностных параметров и физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород *удачнинской свиты* (ϵ_{1-2} *ud*) северо-восточного примыкания ВРТ (скважины №СРП-3 и №СРП-4) в отметках от /-590,3/м до /-700,0/м **(Блок-Горизонт /-565/ – /-665/)** месторождения трубки «Удачная» приведены в таблицах 3.47 и 3.48.

Таблица 3.47

Средние значения физических свойств основных литологических разностей вмещающих пород *удачнинской свиты* (ϵ_{1-2} *ud*) северо-восточного примыкания ВРТ (скважины №СРП-3 и №СРП-4) в отметках от /-590,3/м до /-700,0/м **(Блок-Горизонт /-565/ – /-665/)** месторождения трубки «Удачная»

	Влажность, % W	Объёмная масса, г/см ³
<i>Удачная свита</i> (ϵ_{1-2} <i>ud</i>)		
Известняки n=96	<u>0,08-2,37</u> 0,56	<u>2,60-2,79</u> 2,72
Доломиты n=30	<u>0,59-1,45</u> 0,91	<u>2,71-2,76</u> 2,73

Таблица 3.48

Средние значения прочностных свойств основных литологических разностей вмещающих пород *удачнинской свиты* (ϵ_{1-2} *ud*) северо-восточного примыкания ВРТ (скважины №СРП-3 и №СРП-4) в отметках от /-590,3/м до /-700,0/м **(Блок-Горизонт /-565/ – /-665/)** месторождения трубки «Удачная»

	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа; $\sigma_{сж}$	Предел прочности при растяжении, МПа; $\sigma_{раст}$	Угол внутреннего трения, град,	Условное сцепление, МПа
<i>Удачная свита</i> (ϵ_{1-2} <i>ud</i>)				
Известняки n=137	<u>48,3-114,5</u> 77,3	<u>2,0-8,8</u> 5,1	<u>33,6-42,8</u> 38,5	<u>26,2-56,6</u> 29,9
Доломиты n=42	<u>65,7-100,2</u> 87,6	<u>2,3-8,2</u> 5,3	<u>37,1-42,8</u> 39,1	<u>25,7-39,2</u> 34,1

Анализируя приведенные данные можно сделать следующие выводы:

1. Изучаемая толща, в рамках выделенных блоков, сложена преимущественно карбонатными породами нижнего палеозоя.

2. В целом изучаемый интервал удачининской свиты в отм. $-600/м$ – $-700/м$, и $-749/м$ – $-779/м$, не зависимо от блока расположения, можно отнести к III классу трещиноватости пород. Данный класс является доминирующим, породы, относящиеся к средне-трещиноватым составляют, в зависимости от блока от 59 % до 100 %. При среднем 84 %.

3. В двух блоках выделены интервалы пород, относящихся к IV классу трещиноватости. Суммарная мощность данных пород изменчива, в блоках расположения скважин №№СРП-2, СРП-3 и СРП-4 (северо-восточное примыкание ЗРТ и межтрубье) такие породы вовсе отсутствуют. В процентном соотношении они составляют от 23 % до 41 %. При средней величине 16 %.

4. Отмечаемые трещины в основной своей массе постгенетические, тектонические, субвертикальные, субгоризонтальные различной мощности. 25–30 % залечены (закрытые) глинистыми минералами, кальцитом, реже гипсом и солью.

5. В породе повсеместно отмечаются стилолитовые швы, единичные мелкие и крупные каверны, на некоторых участках происходит объединение каверн в сообщающиеся системы, до 25% отмечаемых каверн, частично или полностью залечены кальцитом и глинистыми минералами, реже гипсом и солью.

6. Распределение физических и прочностных свойств по разрезу коррелируется с их литологическим составом. Минимумы на диаграммах приурочены к глинистым разностям, максимумы – к частично перекристаллизованным, метаморфизованным карбонатным породам.

3.6.3. Инженерно-геологическая характеристика кимберлитов трубки «Удачная»

Инженерно-геологическое изучение кимберлитов месторождения трубки «Удачная» проводилось по скважинам №№ СГК-1 и СРП-5, в отметках от (-465,0) до (-749,4) м.

Западное рудное тело было исследовано в отметках от (-465,0) до (-749,4) м, по скважине № СГК-1.

Рассмотрим трещиноватость выделяемых по трассе скважины *породных разностей* поинтервально:

Интервал 0,0–4,0 (а.о. $-465,0/$ - $-469,0/$) м.

Кимберлитовая брекчия светло-серого цвета с зеленоватым оттенком, структура среднепорфировая, текстура брекчиевая (рис. 3.63). Порода сильно

карбонатизированная, глинистая, сильнотрещиноватая до 15–20 трещин на 1 п.м. керна, трещины разноориентированы, открытого типа (техногенного характера). В данном интервале керн поднят в виде кусков размером от 1,0 до 15,0 см.



Рис. 3.63 КБ скважина №СГК-1 (инт-л 0,0-4,0 (а.о. /-465,0/ - /-469,0/) м).

Интервал 4,0–18,4 (а.о. /-469,0/ - /-483,4/) м.

Крупный ксенолит осадочных пород типа «плавающего рифа», сложенный в интервале 4,0–8,4 м. (рис. 3.64) известняком темно-серого и коричневого цвета, структура массивная. Вторичная минерализация кальцитом в виде гнезд. Порода весьма крепкая, трещиноватая, 3–6 трещин на 1 п.м. керна, трещины ориентированы под $\angle 30\text{--}80^\circ$ к оси керна, открытого типа, стенки трещин ровные. В интервале 4,0–5,5 м. керн поднят в виде кусков размером 3,0–15,0 см, количество кусков – 7 шт. на п.м. керна. В интервале 8,4–14,5 м. мергель коричнево-красного цвета, брекчирован, обломки слабо окатанные с округлыми углами на глинисто-карбонатном цементе. Порода сильнотрещиноватая, до 10–20 трещин на 1 п.м. керна, трещины разноориентированы, преобладают трещины под $\angle 90^\circ$ к оси керна, открытого типа, стенки трещин шероховатые.



Рис. 3.64 Крупный ксенолит осадочных пород типа «плавающего рифа» скважина №СГК-1 (инт-л 4,0-18,4 (а.о. /-469,0/ - /-483,4/) м).

Интервал 18,4–33,2 (а.о. /-483,4/ - /-498,2/) м.

Кимберлитовая брекчия серого цвета с зеленоватым оттенком, структура среднепорфировая, текстура брекчиевая (рис. 3.65). Порода весьма крепкая, плотная, среднетрещиноватая, 3–5 трещин на 1 п.м. керна, трещины ориентированы под $\angle 30\text{--}50^\circ$ (на некоторых участках до 90°) к оси керна, трещины частично залечены кальцитом, мощностью до 1–8 мм. В интервале 22,5–24,5 м порода пористая, весьма крепкая, с мелкими кавернами до 0,5 см, частично заполненными кальцитом. Более крупные каверны наблюдаются на глубинах: 20,0 м; 22,0 м; 24,3 м, размером 2,0–3,0 см по длинной оси, каверны залечены кристаллами кальцита.



Рис. 3.65 КБ скважина №СГК-1 (инт-л 18,4-33,2 (а.о. /-483,4/ - /-498,2/) м).

Интервал 33,2–60,0 (а.о. /-498,2/ - /-525,0/) м.

Кимберлитовая брекчия темно-серого цвета с зеленоватым оттенком (рис. 3.66), структура в инт. 33,2–49,8 м. среднепорфировая, далее в интервале 49,8–60,0 м. крупнопорфировая, текстура брекчиевая. Порода в интервале 33,2–34,3 м. среднетрещиноватая, 3 трещины на 1 п.м. керна, трещины ориентированы под $\angle 30\text{--}90^\circ$ к оси керна, залечены кальцитом и серпофитом, мощностью 1–3 мм, мыльно-зеленого цвета, стенки трещин не ровные. Керн поднят в виде столбцов размером от 15,0 до 50,0 см.



Рис. 3.66 КБ скважина №СГК-1 (инт-л 33,2-60,0 (а.о. /-498,2/ - /-525,0/) м).

Интервал 60,0–93,0 (а.о. /-525,0/ - /-558,0/) м.

Кимберлитовая брекчия темно-серого цвета с зеленовато-голубоватым оттенком структура крупнопорфировая, текстура брекчиевая (рис. 3.67). Порода крепкая, плотная, в интервале 60,0–68,0 м. среднетрещиноватая, 1–5 трещин на 1 п.м. керна, трещины ориентированы под $\angle 10-45^\circ$ к оси керна, залечены кальцитом и серпофитом мыльно-зеленого цвета, мощностью 1–4 мм, стенки трещин шероховатые, неровные, выдержанность постоянная. Длина трещин разная – от 10,0 до 35,0 см, характер протяженности – прямолинейный. Керн поднят в виде мелких столбцов размером 10,0–30,0 см.



Рис. 3.67 КБ скважина №СГК-1 (инт-л 60,0–93,0 (а.о. /-525,0/ - /-558,0/) м).

Интервал 93,0–97,6 (а.о. /-558,0/ - /-562,6/) м.

Кимберлитовая брекчия серого цвета, структура среднепорфировая, текстура брекчиевая (рис. 3.68). Порода весьма крепкая, пористая за счет выщелачивания порфировых вкрапленников. В интервале 93,0–97,6 м среднетрещиноватая, 2–6 трещин на 1 п.м. керна, трещины ориентированы под $\angle 0-45^\circ$ к оси керна. В интервале 93,0–95,0; 96,0–97,6 м трещины залечены кальцитом, стенки трещин ровные, выдержанность ширины постоянная, длина трещин – от 10 до 30 см. В интервале 95,0–96,0 м трещины залечены гипсом мощностью до 1,5 мм, выдержанность изменчивая, стенки трещин ровные (гладкие). Кусковатость в интервале 93,0–97,6 м составляет 6 шт., размером от 30,0 до 90,0 см.



Рис. 3.68 КБ скважина №СГК-1 (инт-л 93,0–97,6 (а.о. /-558,0/ - /-562,6/) м).

Интервал 97,6–100,8 (а.о. /-562,6/ - /-565,8/) м.

Кимберлитовая брекчия темно-серого цвета с зеленовато-голубоватым оттенком, структура крупнопорфировая, текстура брекчиевая (рис. 3.69). Порода плотная, крепкая, среднетрещиноватая, 3–5 трещин на 1 п.м. керна, трещины ориентированы под $\angle 20\text{--}45^\circ$ к оси керна, в интервале 97,6–98,0; 99,0–100,8 м залечены кальцитом нитевидным, стенки трещин шероховатые, длина трещин от 10,0 до 30,0 по короткой оси керна. В интервале 98,0–99,0 м. трещины открытого типа, стенки трещин шероховатые, ориентированы под $\angle 30^\circ$ к оси керна. Керн поднят в виде столбцов и кусков размером от 10,0 до 90,0 см.

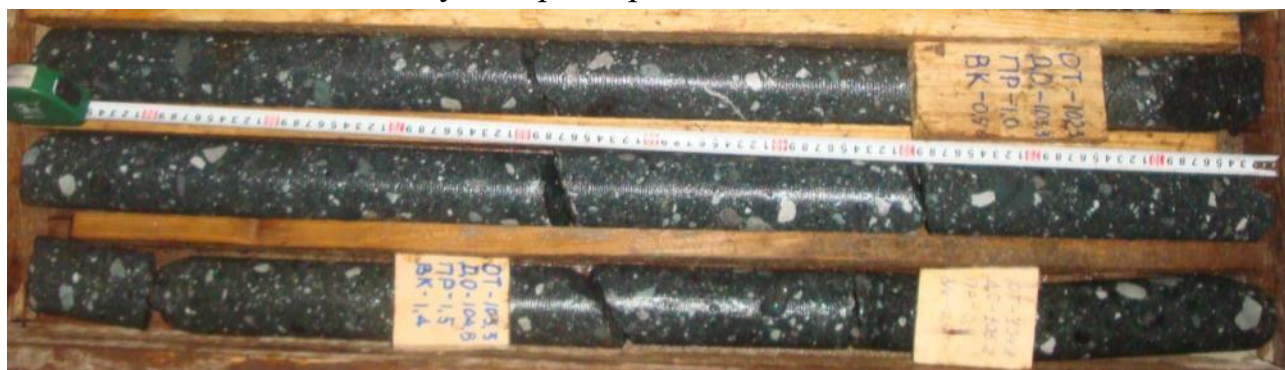


Рис. 3.69 КБ скважина №СГК-1 (инт-л 97,6-100,8 (а.о. /-562,6/ - /-565,8/) м).

Интервал 100,8–150,6 (а.о. /-565,8/ - /-615,6/) м.

Кимберлитовая брекчия в интервале 100,8–120,2 м серого цвета с зеленоватым оттенком, в интервале 120,2–150,6 м темно-серого цвета с зеленоватым оттенком, структура в интервале 100,8–120,2 м среднепорфировая, в интервале 120,2–150,6 м крупнопорфировая, текстура брекчиевая (рис. 3.70). Порода разной степени плотности, на некоторых участках пористая (замещение по оливину), среднетрещиноватая, 2–4 трещины на 1 п.м. керна, трещины ориентированы под $\angle 10\text{--}40^\circ$ к оси керна, отдельные единичные трещины под $\angle 70\text{--}80^\circ$ к оси керна. Трещины открытого и закрытого типа, закрытые трещины частично залечены кальцитом мощностью до 2 мм, стенки трещин неровные, шероховатые, выдержанность ширины трещин изменчивая, длина от 10,0 до 20,0 см. Керн поднят в виде столбцов размером от 30,0 до 90,0 см.



Рис. 3.70 КБ скважина №СГК-1 (инт-л 100,8-150,6 (а.о. /-565,8/ - /-615,6/) м).

Интервал 150,6–199,5 (а.о. /-615,6/ - /-664,5/) м.

Автолитовая кимберлитовая брекчия от серого до темно-серого цвета, структура крупнопорфировая, текстура брекчиевая (рис. 3.71). Порода весьма крепкая, плотная, трещиноватость средняя, 2–5 трещин на п.м. зерна. Трещины разноориентированы под $\angle 0\text{--}90^\circ$ к оси зерна. Трещины открытого и закрытого типа, закрытые трещины частично залечены кальцитом, мощностью до 1 мм, выдержанность ширины трещин постоянная, длина трещин до 10 см, зерн поднят в виде столбцов размером 20–55 см. В интервале 189,0–191,0 м трещины залечены кальцитом и галитом мощностью 1–8 мм, выдержанность ширины трещин крайне изменчивая, длина трещин – от 10 до 15 см. На глубине 198,4 м отмечается зеркало скольжения под $\angle 30^\circ$ к оси зерна.



Рис. 3.71 АКБ скважина №СГК-1 (инт-л 150,6-199,5 (а.о. /-615,6/ - /-664,5/) м).

Интервал 199,5–202,6 (а.о. /-664,5/ - /-667,6/) м.

Кимберлитовая брекчия светло-серого цвета, структура среднепорфировая, текстура брекчиевая (рис. 3.72). Основная масса карбонатно-серпентинового состава, серого цвета, структура скрытокристаллическая, текстура массивная. Порода весьма крепкая, основная связующая масса карбонатизированная, пористая, среднетрещиноватая, 2–5 трещин на 1 п.м. зерна, трещины ориентированы под $\angle 40\text{--}90^\circ$ к оси зерна, трещины открытого типа и частично залечены кальцитом в виде тонкого налета, стенки трещин шероховатые, длина трещин до 10,0 см.



Рис. 3.72 КБ скважина №СГК-1 (инт-л 199,5-202,6 (а.о. /-664,5/ - /-667,6/) м).

Интервал 202,6–210,1 (а.о. /-667,6/ - /-675,1/) м.

Кимберлитовая брекчия темно-серого цвета с зеленоватым оттенком структура крупнопорфировая, текстура брекчиевая (рис. 3.73). Основная масса серпентин-карбонатного состава, составляет 60 % от общей массы, структура скрытокристаллическая, текстура массивная. Порода плотная, весьма крепкая, сильнотрещиноватая, 5–10 трещин на 1 п.м. керна, трещины ориентированы под $\angle 0\text{--}30^\circ$ к оси керна, отдельные трещины под $\angle 90^\circ$ к оси керна, залечены кальцитом, мощностью 1–3 мм, выдержанность ширины постоянная, длина трещин от 10 до 30 см, стенки трещин шероховатые. В интервале 205,5–205,6 м зеркало скольжение под $\angle 10^\circ$ к оси керна. На глубине 206,2 м отмечается ещё одно зеркало скольжение под $\angle 45^\circ$ к оси керна.



Рис. 3.73 КБ скважина №СГК-1 (инт-л 202,6-210,1 (а.о. /-667,6/ - /-675,1/) м).

Интервал 210,1–210,9 (а.о. /-675,1/ - /-675,9/) м.

Ксенолит типа «плавающего рифа», представлен известняком светлорыжевого цвета, структура мелкозернистая, текстура слоистая (рис. 3.74). Слоистость ориентирована под $\angle 60\text{--}90^\circ$ к оси керна, тип слоистости волнистая. Порода сильнотрещиноватая, 10 трещин на 1 п.м. керна, трещины ориентированы под $\angle 0\text{--}30^\circ$ к оси керна, залечены кальцитом, мощностью 1–2 мм, длина трещин от 5 до 25 см, стенки трещин шероховатые.



Рис. 3.74 Ксенолит осадочных пород типа «плавающего рифа».

Интервал 210,9–211,9 (а.о. /-675,9/ - /-676,9/) м.

Кимберлитовая брекчия зеленовато-серого цвета, структура крупнопорфировая, текстура брекчиевая (рис. 3.75). Порода рыхлая, при ударе молотком разбиваются на мелкие обломки. Порода сильнотрещиноватая, 5–10

трещин на 1 п.м. керна, трещины ориентированы под $\angle 0-30^\circ$ к оси керна, отдельные трещины под $\angle 90^\circ$ к оси керна, залечены кальцитом, мощностью 1–3 мм, выдержанность ширины постоянная, длина трещин от 10 до 30 см, стенки трещин шероховатые.



Рис. 3.75 КБ скважина №СГК-1 (инт-л 210,1-211,9 (а.о. /-675,9/ - /-676,9/) м).

Интервал 211,9–212,9 (а.о. /-676,9/ - /-677,9/) м.

Ксенолит типа «плавающего рифа», представлен известняком светло-коричневого цвета, структура мелкозернистая, текстура слоистая, слоистость ориентирована под $\angle 0-10^\circ$ к оси керна, слоистость волнистая (рис. 3.76). Порода крепкая, слаботрещиноватая, 1–2 трещины нв 1 п.м. керна, трещины ориентированы под $\angle 70-80^\circ$ к оси керна, трещины открытого типа, стенки трещин неровные.



Рис. 3.76 Ксенолит осадочных пород типа «плавающего рифа».

Интервал 212,9–218,5 (а.о. /-677,9/ - /-683,5/) м.

Кимберлитовая брекчия светло-серого цвета, структура среднепорфировая, текстура брекчиевая (рис 3.77). Основная связующая масса карбонатно-серпентинового состава, светло-серого цвета, структура скрытокристаллическая, текстура массивная. Порода плотная, весьма крепкая, среднетрещиноватая, 4–6 трещин на 1 п.м. керна, трещины ориентированы под $\angle 60-90^\circ$ к оси керна, трещины открытого типа, стенки трещин неровные, шероховатые, длина трещин до 10 см. На глубине 218,1 м – зеркало скольжение под $\angle 20^\circ$ к оси керна.



Рис. 3.77 КБ скважина №СГК-1 (инт-л 212,9-218,5 (а.о. /-677,9/ - /-683,5/) м).

Интервал 218,5–222,0 (а.о. /-683,5/ - /-687,0/) м.

Доломит светло-серого цвета с инъекциями кимберлитовой брекчии светло-серого цвета (рис. 3.78). Структура мелкозернистая, текстура массивная. Инъекция кимберлитовой брекчии в виде жил в интервале 219,8–220,0 м, а также по всему интервалу по трещинам размером от 1,0 до 4,0 см. Порода сильнотрещиноватая, до 10 трещин на 1 п.м. керна. Трещины ориентированы под $40\text{--}30^\circ$ к оси керна, трещины залечены кимберлитом, кальцитом галитом, мощностью 1–3 мм, стенки трещин неровные, шероховатые, длина трещин до 35 см.



Рис. 3.78 Доломит (инт-л 218,5–222,0 (а.о. /-683,5/ - /-687,0/) м).

Интервал 222,0–225,8 (а.о. /-687,0/ - /-690,8/) м.

Доломит светло-бежевого до белого цвета, структура мелкозернистая, текстура массивная (аналогичен породам на рис. 3.78). Порода сильнотрещиноватая, 6–15 трещин на 1 п.м. керна, трещины ориентированы под $40\text{--}45^\circ$ к оси керна, трещины открытого типа, стенки трещин ровные, гладкие, длина трещин от 6 до 20 см.

Интервал 225,8–235,0 (а.о. /-690,8/ - /-700,0/) м.

Кимберлитовая брекчия в интервале 225,6–230,4 м светло-серого, светло-коричневого цвета, далее темно-серого цвета (рис. 3.79). Структура мелко-среднепорфировая, текстура брекчиевая. Основная масса серпентин-карбонатного состава серого, темно-серого цвета, структура скрытокристаллическая, текстура массивная. Псевдоморфоз серпентин по оливину около 20 % от общей массы породы, светло-серого, зеленовато-серого

цвета. Порода среднетрещиноватая, 3–4 трещины на 1 п.м. керна, трещины ориентированы под $\angle 30\text{--}70^\circ$ к оси керна, трещины открытого типа, стенки трещин неровные шероховатые, трещины от 10 до 20 см.



Рис. 3.79 КБ скважина №СГК-1 (инт-л 225,8-235,0 (а.о. /-690,8/ - /-700,0/) м).

Интервал 235,0–267,3 (а.о. /-700,0/ - /-732,3/) м.

Кимберлитовая брекчия темно-серого цвета, в интервале 256,5–262,4 м светло-серого цвета, структура крупнопорфировая, текстура брекчиевая (рис 3.80). Основная связующая масса темно-серого, серого цвета, преимущественно серпентин-карбонатного состава, структура скрытокристаллическая, текстура массивная. Порфировые вкрапленники оливина представлены псевдоморфозами серпентина по оливину, составляют около 15 % от общей массы темно-зеленого цвета, петельчатой структуры, форма округло-вытянутая, размером от 0,1 до 2,0 см в поперечнике. Порода крепкая, плотная в целом среднетрещиноватая, 2–5 трещин на 1 п.м. керна, участками отмечаются зоны повышенной трещиноватости в следующих интервалах: 237,1–239,0; 254,0–255,0; 258,0–259,0; 264,0–267,3 м – от 6 до 15 трещин на 1 п.м. Трещины ориентированы под $\angle 15\text{--}90^\circ$ к оси керна, трещины как открытого, так и закрытого типа, залечены кальцитом мощностью 1 мм, стенки трещин шероховатые, неровные.



Рис. 3.80 КБ скважина №СГК-1 (инт-л 235,0-267,3 (а.о. /-700,0/ - /-732,3/) м).

Интервал 267,3–284,4 (а.о. /-732,3/ - /-749,4/) м.

Порфиновый кимберлит темно-серого до черного цвета, структура крупнопорфировая, текстура массивная (рис. 3.81). Основная масса темно-серого цвета серпентин-карбонатного состава. Порода среднетрещиноватая, количество трещин 3–5 шт. на 1 п.м. керна, открытые и закрытые, закрытые трещины залечены кальцитом, мощностью от 1 до 5 мм, ориентированы под \angle 0–30° к оси керна в основном параллельно друг к другу. В интервалах 272,6–274,0; 279,0–283,0 м трещины открытого типа, ориентированы под углом 30–90° к оси керна, стенки трещин ровные. На глубине 274,6 м отмечаются зеркала скольжения под \angle 0–5° к оси керна с горизонтальной штриховкой.



Рис 3.81 ПК скважина №СГК-1 (инт-л 267,3-284,4 (а.о. /-732,3/ - /-749,4/) м).

На глубине 284,4 м (а.о. /-749,4/) скважина № СГК-1 вышла из кимберлита. Скважина была закрыта при глубине 314 м (а.о. /-779,0/). В интервале от 284,4 до 314,0 м бурение велось по карбонатным породам удачинской свиты.

Распределение модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу в породах ЗРТ приведено в таблице 3.49.

Необходимо отметить, что выделенные трещины в основной своей массе постгенетические, тектонические, субвертикальные, субгоризонтальные различной мощности. Отмечаются субвертикальные зеркала скольжения. В целом, образование трещин происходило в результате тектонического развития изучаемого объекта, и непосредственно связанного с ним внедрения

магматических пород, с последующей гидротермальной фазой развития (образование минералов заполнителей открытых трещин). Развитие пустотного пространства в кимберлитах также сопряжено с выветриванием ультраосновных пород, а именно замещением оливина, по стандартной схеме: оливин → серпентин → карбонаты. В целом описываемый массив можно отнести к III классу трещиноватости пород, за исключением некоторых интервалов (не более 20 %), которые относятся к IV классу.

Таблица 3.49

Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу пород ЗРТ
(по скважине №СГК-1)

№ № ПП	Горизонт	Стратиграфическая принадлежность	Глубина по стволу СКВ., м	Глубина в абс. отм., м.	Литология	Средние величины	
						Модуль кусковатости	Модуль Трещин-ти
1	-465/-565	<i>Интрузивный комплекс</i>	4,0	-469,0	КБ	7	20
2			18,4	-483,4	Ксенолит	8	12
3			33,2	-498,2	КБ	9	10
4			60,0	-525,0	КБ	7	10
5			93,0	-558,0	КБ	5	6
6			97,6	-562,6	КБ	5	6
7			100,0	-565,0	КБ	4	5
8	-565/-665		150,6	-615,6	КБ	5	7
9			199,5	-644,5	АКБ	6	7
10			202,6	-667,6	КБ	7	7
11			210,1	-675,1	КБ	5	6
12			210,9	-675,9	Ксенолит	3	4
13			211,9	-676,9	КБ	5	7
14			212,9	-677,9	Ксенолит	8	12
15			218,5	-683,5	КБ	11	12
16			222,0	-687,0	Доломит	6	10
17			225,8	-690,8	Доломит	6	7
18			235,0	-700,0	КБ	5	6
19			267,3	-732,2	КБ	4	5
20			284,4	-749,4	ПК	5	6

Графическая интерпретация распределения модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу, в пределах Блока-Горизонта **/-465/ – /-565/**, по породам ЗРТ – рис. 3.82; в пределах Блока-Горизонта **/-565/ – /-665/** – рис. 3.83.

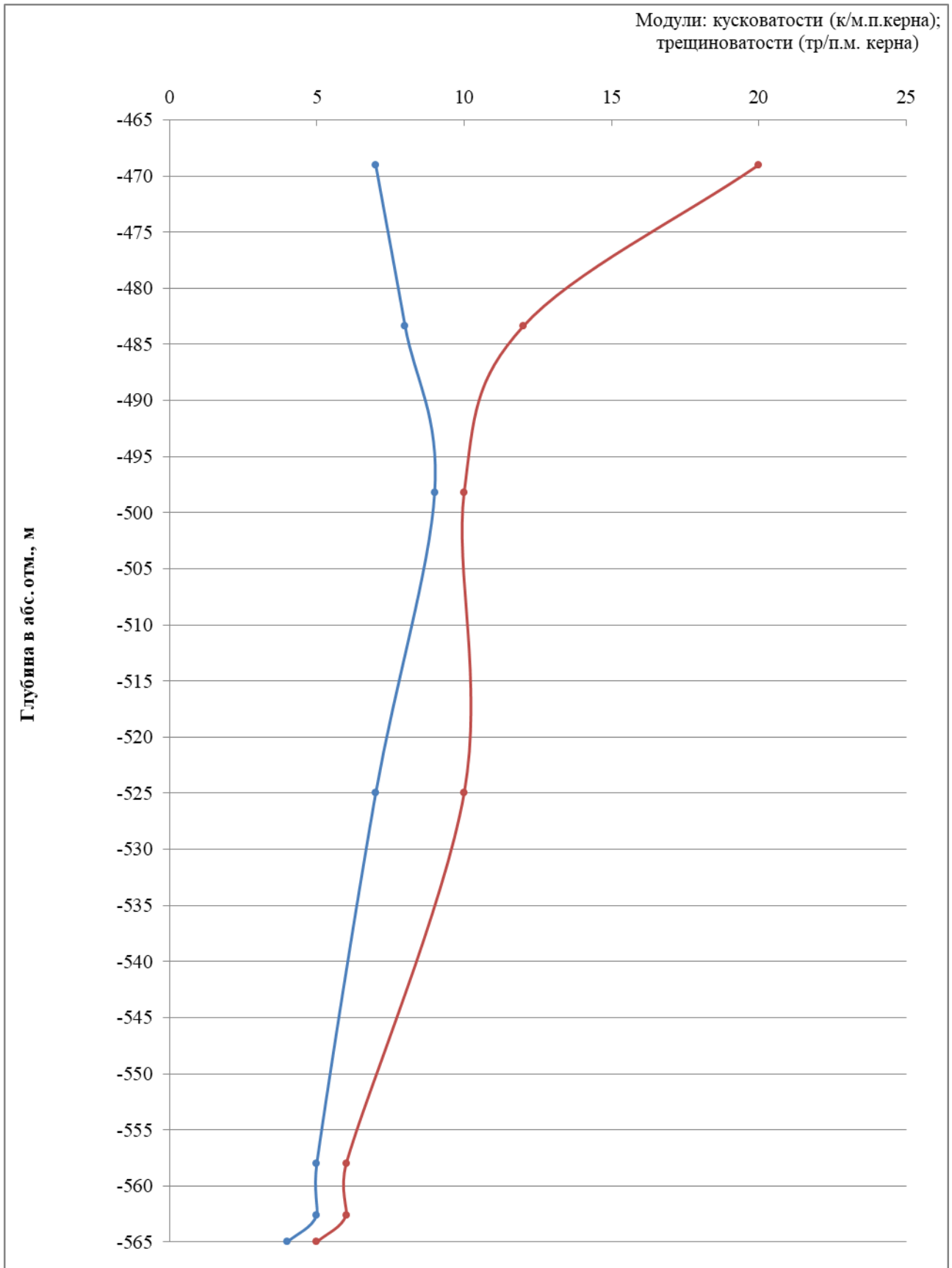


Рис. 3.82 Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу, в пределах Блока-Горизонта /-465/ – /-565/ по продажам ЗРТ, (по скважине СГК-1).

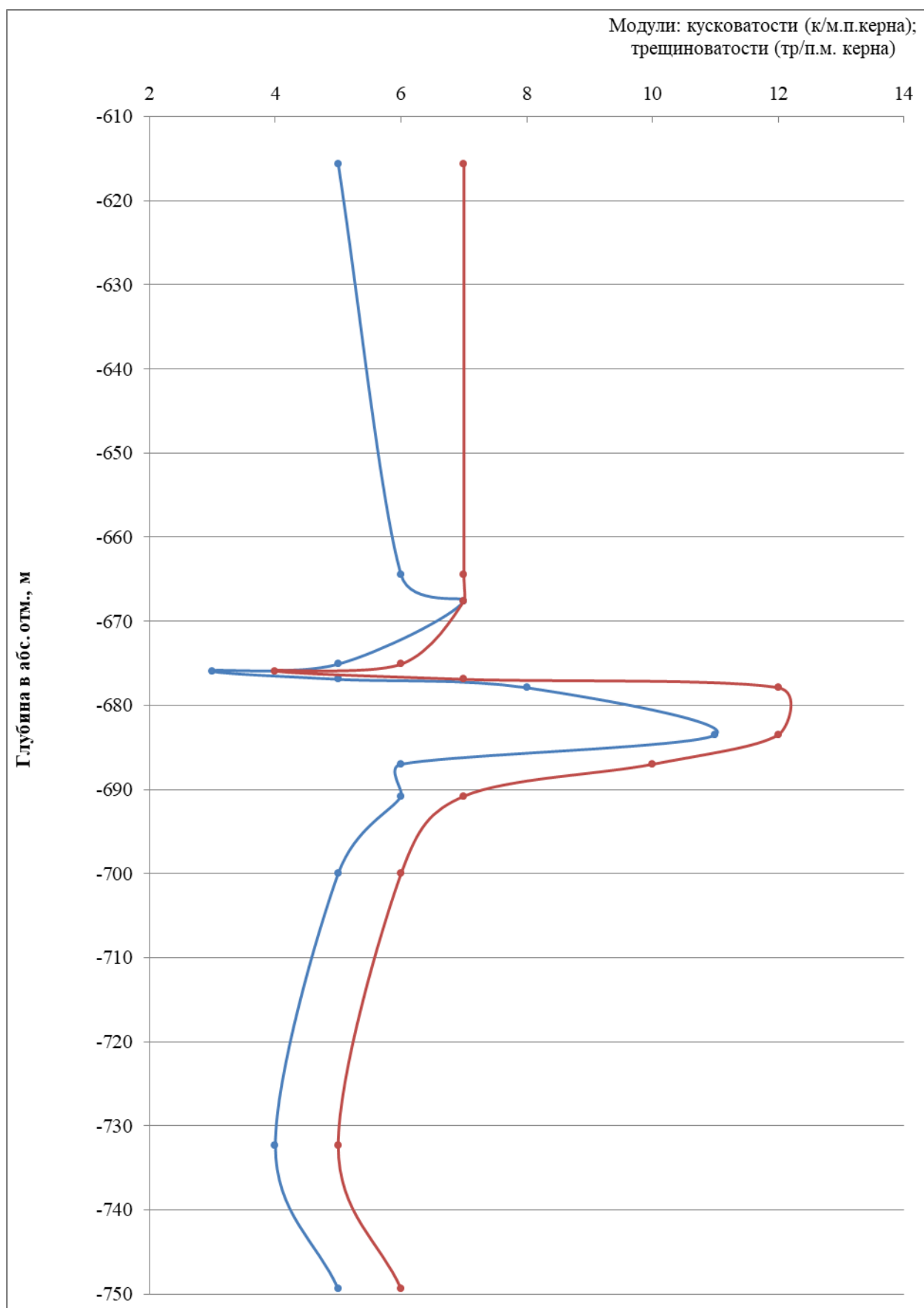


Рис. 3.83 Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу, в пределах Блока-Горизонта /-565/ – /-665/ по продаж ЗРТ, (по скважине SGK-1).

Кимберлиты ЗРТ месторождения трубки «Удачная», в пределах Блока-Горизонта /-465/ – /-565/, характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 31,7 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 5,9 МПа;
- влажность составляет 2,29%;
- объёмная масса – 2,56 г/см³.

Кимберлиты ЗРТ месторождения трубки «Удачная», в пределах Блока-Горизонта /-565/ – /-665/, основные петрографические разности (АКБ, КБ и ПК) характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 34,4 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 4,9 МПа;
- влажность составляет 1,91%;
- объёмная масса – 2,58 г/см³.

Восточное рудное тело было исследовано в отметках от (-465,0) до (-700,0) м, по скважине № СРП-5.

Рассмотрим трещиноватость выделяемых по трассе скважины *породных разностей* поинтервально:

Интервал 0,0–41,8 (а.о. /-465,0/ - /-506,8/) м.

Кимберлитовая брекчия темно-серого до черного цвета, средне-крупнопорфировой структуры, брекчиевой текстуры (рис. 3.84). Основная связующая масса серпентин-карбонатного состава, составляет ~ 70 % от основной массы, темно-серого цвета, скрытокристаллической структуры, массивной текстуры. Порода весьма крепкая, при ударе молотком звенит. Порода средне трещиноватая на 1 п.м. керна приходится порядка 1–3 трещин открытого типа, ориентированы под углом 15–80° к оси керна, стенки трещин неровные, шероховатые. На глубине 8,0 м отмечаются каверны вытянутой формы залеченные галитом. По всему описываемому интервалу 0,0–41,8 м отмечается ярко выраженная минерализация гидроокислами железа по трещинам, отмечаются единичные стяжения сидерита.



Рис. 3.84 КБ скважина №СРП-5 (инт-л 0,0-41,8 (а.о. /-465,0/ - /-506,8/) м).

Интервал 41,8–47,2 (а.о. /-506,8/ - /-512,2/) м.

Порфиновый кимберлит темно-серого до черного цвета, среднепорфировой структуры, массивной текстуры (рис. 3.85). Основная связующая масса серпентин-карбонатного состава, темно-серого цвета, скрытокристаллической структуры, массивной текстуры. Порода в данном интервале в целом средне-сильнотрещиноватая, на 1 пог.м. керна приходится порядка 3–7 трещин, трещины ориентированы под углом 0–70° к оси керна, трещины как открытого типа так и залеченные кальцитом реже галитом мощностью 1,0–10,0 мм, единичные мощностью до 20,0 мм, стенки трещин неровные, шероховатые. По всему интервалу проявляется ярко выраженная минерализация гидроокислами железа по трещинам в частности.



Рис. 3.85 ПК скважина №СРП-5 (инт-л 41,8-47,2 (а.о. /-506,8/ - /-512,2/) м).

Интервал 47,2–50,5 (а.о. /-512,2/ - /-515,5/) м.

Кимберлитовая брекчия темно-серого цвета, среднепорфировой структуры, брекчиевой текстуры (рис. 3.86). Основная связующая масса серпентин-карбонатного состава, скрытокристаллической структуры, массивной текстуры, темно-серого цвета. В целом в данном интервале порода среднетрещиноватая, на 1 пог.м керна приходится порядка 3–5 трещин, трещины залечены галитом и кальцитом с минерализацией гидроокислами железа, в основном ориентированы под углом 0–50° к оси керна, реже 90°.



Рис. 3.86 КБ скважина №СРП-5 (инт-л 47,2-50,5 (а.о. /-512,2/ - /-515,5/) м).

Интервал 50,5–81,5 (а.о. /-515,5/ - /-546,5/) м.

Кимберлитовая брекчия серого цвета, средне-крупнопорфировой структуры, брекчиевой текстуры (рис. 3.87). Связующая масса серпентин-карбонатного состава, серого цвета, скрытокристаллической структуры, массивной текстуры. В описываемом интервале порода в целом стреднетрещиноватая, на 1 пог.м керна приходится порядка 2–5 трещин, трещины преимущественно закрытого типа, залечены кальцитом и галитом с минерализацией гидроокислами железа мощностью в основном 1,0–5,0 мм, единичные до 10,0–20,0 мм. В интервалах: 55,0–60,0 м; 63,0–69,0 м отмечаются трещины открытого типа, 1–3 на 1 пог.м керна. Трещины в основном ориентированы под углом 0–45° к оси керна, реже 70–80°, стенки трещин шероховатые, неровные. В интервале 50,5–76,0 м отмечаются единичные каверны размером 1,0–3,0 см в поперечнике, залеченные галитом. В интервале 76,0–80,0 м порода кавернозная, на 1 пог.м керна приходится порядка 1–3 каверны размером до 5,0 см в поперечнике, каверны залечены галитом частично либо полностью.



Рис. 3.87 КБ скважина №СРП-5 (инт-л 50,5-81,5 (а.о. /-515,5/ - /-546,5/) м).

Интервал 81,5–120,0 (а.о. /-546,5/ - /-585,0/) м.

Кимберлитовая брекчия темно-серого цвета, среднепорфировой структуры, брекчиевой текстуры (рис. 3.88). Связующая масса серпентин-карбонатного состава, темно-серого цвета, скрытокристаллической структуры, массивной текстуры. Порода средне-сильнотрещиноватая, на 1 пог.м керна приходится порядка 3-6 трещин, трещины преимущественно залечены галитом и кальцитом с гидроокислами железа, так же отмечаются единичные трещины открытого типа. Трещины ориентированы в основном под углом 0–30° к оси керна, единичные под углом 60–70°. Мощность залеченных трещин составляет

порядка 1,0–7,0 мм, единичные достигают 15,0–20,0 мм, стенки трещин неровные, шероховатые. В интервале 104,0–120,0 м отмечаются единичные мелкие каверны до 2,0 см, на интервале 106,2–108,2 м наблюдаются крупные каверны округло-вытянутой формы размером 3,0–10,0 см, каверны частично либо полностью залечены галитом и кальцитом с минерализацией гидроокислами железа.



Рис. 3.88 КБ скважина №СРП-5 (инт-л 81,5-120,0 (а.о. /-546,5/ - /-585,0/) м).

Интервал 120,0–173,5 (а.о. /-585,0/ - /-638,5/) м.

Кимберлитовая брекчия темно-серого цвета, структура крупно-среднепорфировая, текстура брекчиевая (рис. 3.89). Основная связующая масса темно-серого цвета серпентин-карбонатного состава, структура скрытокристаллическая, текстура массивная. Порода весьма крепкая, при ударе молотком звенит, среднетрещиноватая от 3 до 5 трещин на 1 п.м керна. Трещины ориентированы под углом 0–45° (реже до 90°) к оси керна, трещины открытого и закрытого типа, закрытые трещины залечены кальцитом, стенки трещин шероховатые, неровные, трещины секущие, по трещинам развито ожелезнение. По всему интервалу наблюдаются каверны размером 1,0–5,0 мм, округло-вытянутые, полые.



Рис. 3.89 КБ скважина №СРП-5 (инт-л 120,0-173,5 (а.о. /-585,0/ - /-638,5/) м).

Интервал 173,5–206,0 (а.о. /-638,5/ - /-671,0/) м.

Кимберлитовая брекчия серого, темно-серого цвета, структура среднепорфировая, текстура брекчиевая (рис 3.90). Основная масса темно-серого цвета, серпентин-карбонатного состава, около 70 % структуры скрытокристаллическая, текстура массивная. Порода сильно-трещиноватая, 5–10 трещин на 1 пог.м керна, трещины ориентированы под углом 45-90° к оси керна, отдельные трещины под углом 0°. Трещины в основном открытого типа, стенки трещин шероховатые. Закрытые трещины залечены кальцитом, реже галитом.



Рис. 3.90 КБ скважина №СРП-5 (инт-л 173,5-206,0 (а.о. /-638,5/ - /-671,0/) м).

Интервал 206,0–235,0 (а.о. /-671,0/ - /-700,0/) м.

Кимберлитовая брекчия темно-серого цвета с зеленоватым оттенком, структура среднепорфировая, текстура брекчиевая (рис. 3.91). Основная масса темно-серого цвета, серпентин-карбонатного состава, структура скрытокристаллическая. Порода весьма крепкая, трещиноватость средняя, 3–5 трещин на 1 пог.м, керна, трещины ориентированы под углом 0–45° к оси керна, трещины открытого типа, стенки трещин неровные, шероховатые, по трещинам местами ожелезнение, редко трещины залечены глинистым материалом зеленовато-серого цвета (серпофитом).



Рис. 3.91 КБ скважина №СРП-5 (инт-л 206,0–235,0 (а.о. /-671,0/ - /-700,0/) м).

Распределение модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу в породах ЗРТ приведено в таблице 3.50.

Таблица 3.50

Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу пород ВРТ
(по скважине №СРП-5)

№ № ПП	Горизонт	Стратиграфическая принадлежность	Глубина по стволу скв., м	Глубина в абс. отм., м.	Литология	Средние величины	
						Модуль кусковатости	Модуль Трещин-ти
1	-465/-565	<i>Интрузивный комплекс</i>	41,8	-506,8	КБ	13	15
2			47,2	-512,2	КБ	20	22
3			50,5	-515,5	КБ	14	15
4			81,5	-546,5	КБ	11	14
5			100,0	-565,0	КБ	16	18
6	-565/-665		120,0	-585,0	КБ	13	17
7			173,5	-638,5	КБ	17	18
8			206,0	-671,0	КБ	21	22
9			235,0	-700,0	КБ	20	21

Отмечаемые в кимберлитах ВРТ трещины так же, как и описанные ранее трещины кимберлитов ЗРТ в основном относятся к системам субвертикальных и субгоризонтальных постгенетических трещин. По керну также отмечаются единичные зеркала скольжения. Образование и развитие трещин в кимберлитах ВРТ контролировалось описанными выше (при характеристике трещин ЗРТ) процессами. В целом трещиноватость кимберлитов ВРТ схожа с трещиноватостью кимберлитов ЗРТ, но кимберлиты ВРТ более трещиноваты, но эта разница невелика (не более 10 %) и может объясняться попаданием опытной скважины в блок, характеризующийся повышенной трещиноватостью.

Кимберлиты ВРТ можно отнести к III классу трещиноватости пород. Интервалы, относящиеся к IV классу трещиноватости, суммарно не превышают 20 % от описываемого интервала (что соответствует результатам, полученным по кимберлитам ЗРТ).

Графическая интерпретация распределения модулей кусковатости и трещиноватости по разрезу, в пределах Блока-Горизонта **/-465/ – /-565/**, по породам ВРТ – рис. 3.92; в пределах Блока-Горизонта **/-565/ – /-665/** – рис. 3.93.

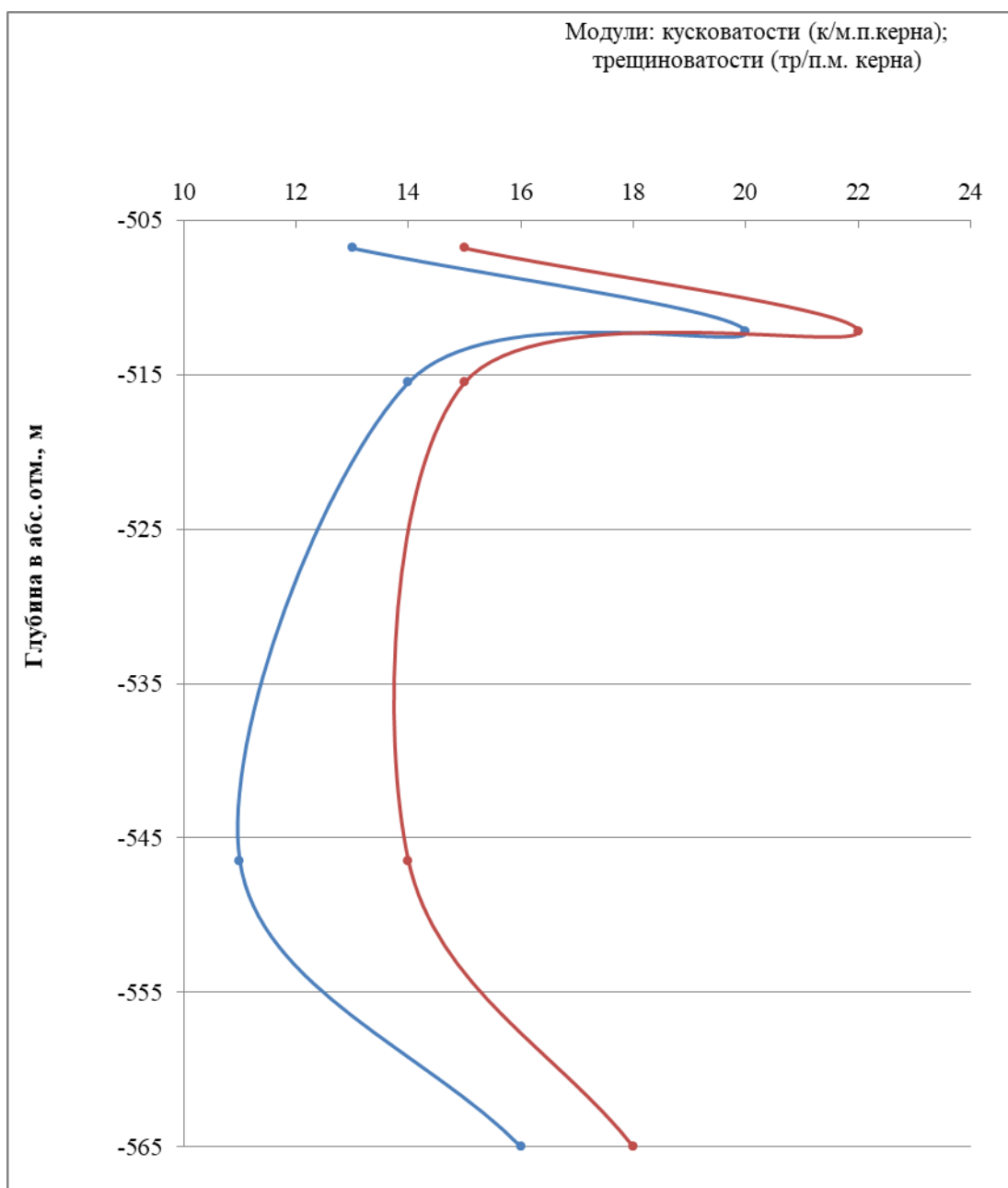


Рис. 3.92 Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу, в пределах Блока-Горизонта /-465/ – /-565/ по продажам ВРТ, (по скважине СРП-5).

Кимберлиты ВРТ месторождения трубки «Удачная», в пределах Блока-Горизонта /-465/ – /-565/, характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 50,7 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 3,8 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 18,9 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 37,5°;
- влажность составляет 0,62%;
- объёмная масса – 2,66 г/см³.

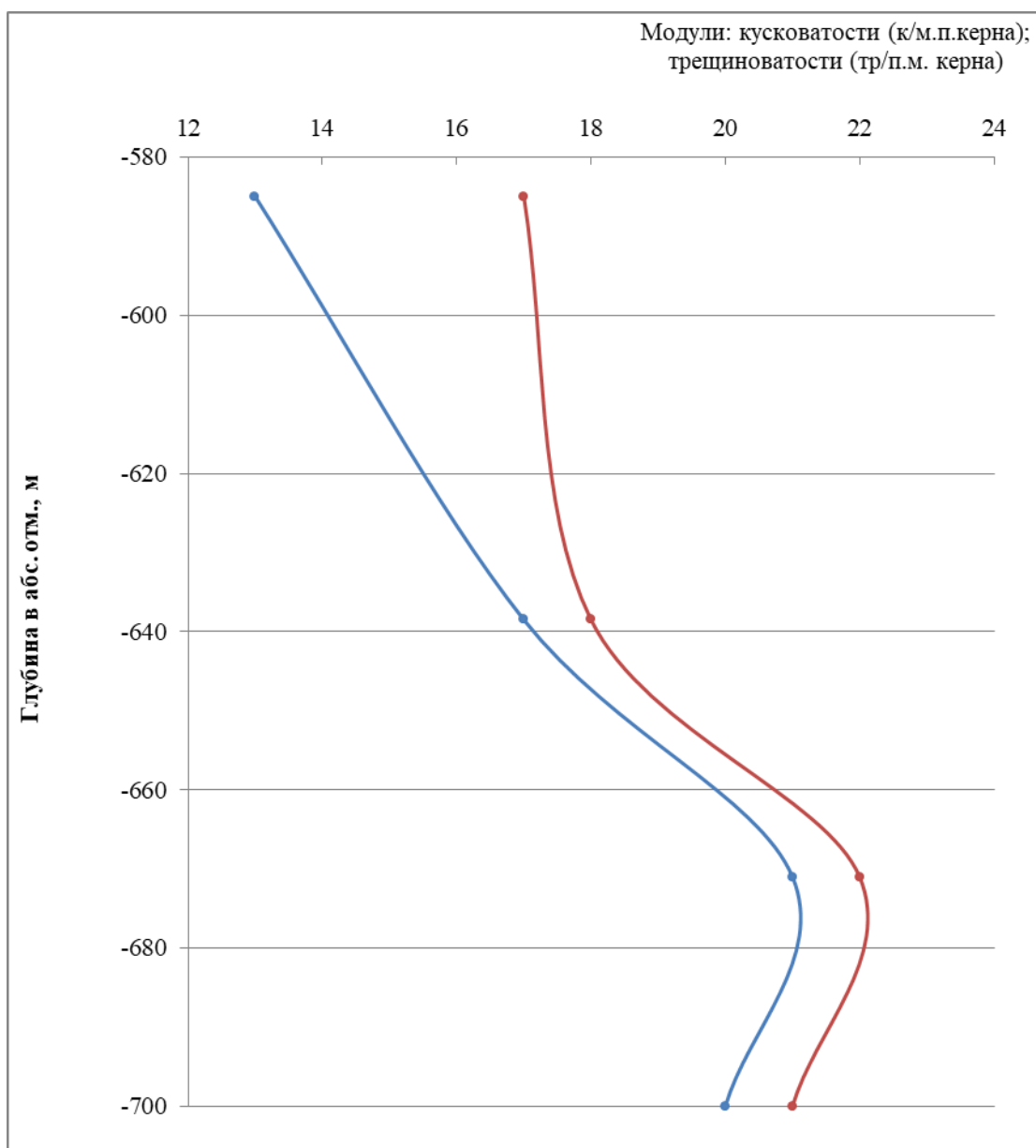


Рис. 3.93 Распределение модуля кусковатости и трещиноватости по разрезу, в пределах Блока-Горизонта /-465/ – /-565/ по продажам ВРТ, (по скважине СРП-5).

Кимберлиты ВРТ месторождения трубки «Удачная», в пределах Блока-Горизонта /-565/ – /-665/, характеризуются следующими прочностными параметрами и физическими характеристиками:

- средняя величина прочности на одноосное сжатие составляет 54,8 МПа;
- средняя величина прочности на растяжение составляет 4,2 МПа;
- средняя величина удельного сцепления составляет 20,3 МПа;
- среднее значение угла внутреннего трения – 37,1°;
- влажность составляет 0,65%;
- объёмная масса – 2,69 г/см³.

4. ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРЬЕРНОГО ПОЛЯ ТРУБКИ «ЗАРНИЦА»

Кимберлитовая рудка «Зарница» и вмещающие ее породы в радиусе до 1500 м должны рассматриваться как гидрогеологическая микроструктура из-за наличия гидравлических окон, влияния разноранговых тектонических нарушений на гидродинамические параметры коллекторов, а также присутствия основных и ультраосновных согласных и несогласных интрузий в пределах шахтного поля.

Трубка «Зарница» – первое кимберлитовое тело, найденное в России. Она открыта геологом ВСЕГЕИ Попугаевой Л.А. 21 августа 1954 г. Разведка трубки на предварительной стадии показала убогие содержания алмазов. Однако в 1977–1982 гг. была проведена новая разведка на глубину до 300 м, обосновывающая возможность извлечения крупных ювелирных камней.

В настоящее время трубка «Зарница» разрабатывается карьером. В 2016 г. на трубке был добыт алмаз с размерами 3,8x3,7x1,8 см, весом 207,3 карата. Он получил название «Дети Азии». «Зарница» – это второе по площади, после трубки «Юбилейной», кимберлитовое тело в России. Трубка расположена в поле развития ордовикских отложений на плоской задернованной поверхности водораздела двух небольших ручьёв, впадающих в реку Далдын. Ее размеры на поверхности составляют 535x480 м (площадь 32 га). Горные работы на карьере «Зарница» были начаты в 1999 г. Отработка открытым способом ведется с применением традиционной технологии с использованием самосвалов и экскаваторов. Порода подготавливается к выемке с применением буровзрывных работ (рис 4.1).



Рис. 4.1 Карьер трубки Зарница.

Отработка месторождения, в виду его технико-экономических показателей, планируется открытым способом (рис. 4.2).

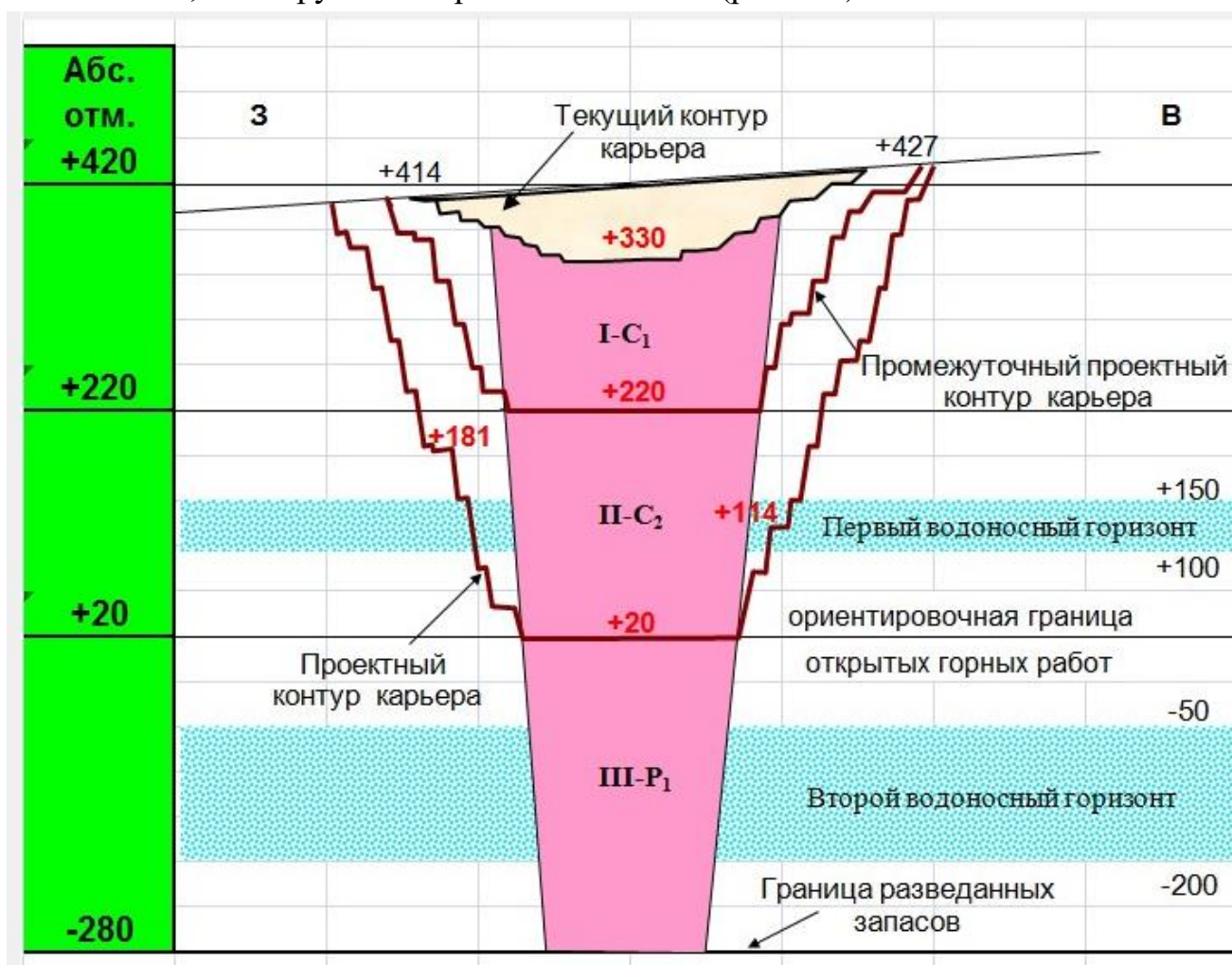


Рис. 4.2 Схема отработки месторождения трубки «Зарница».

На поверхности трубка «Зарница» имеет изометрическую форму с размером 520x540 м. В разведанной части рудное тело отличается простой морфологией и представляет собой диатрему с каналом цилиндрического типа (рис. 4.3). Изменение площади поперечного сечения трубки с глубиной происходит постепенно, без резких пережимов, с градиентом уменьшения площади до глубины 400 м, в среднем 10,7–10,9% на каждые 100 м. На глубине 700 м поперечное сечение рудного тела приобретает овальную форму, несколько вытянутую в субмеридиональном направлении. Соотношение длинной и короткой осей трубки «Зарница» на всех подсеченных горизонтах близко к единице и изменяется от 1,06 (горизонт +220) до 1,13 (горизонт -280). Контакты рудного тела с кимберлитовмещающими породами имеют склонение к центру, углы падения контактов характеризуются крутизной от 90 до 70°. Контур трубки в целом отвечает границе промышленного оруденения. В плане кимберлитовое тело имеет изометричную форму с соотношением осей 1,1:1,0. По падению – это

почти правильный цилиндр, который через каждые 100 м углубления уменьшается в объеме на 12–19 % (рис. 4.3). В ее внутреннем строении различают две главные петрографические разновидности – автолитовые брекчии и эруптивные брекчии. Кимберлиты содержат (кг/т): пикроильменит – 1,86–3,73; пироп – 0,13–0,51; хромшпинелид – 3,0–4,9; пироксен – 0,04–0,08; амфибол – 3,7–6,5. Среди глубинных включений преобладают ультраосновные ксенолиты – 96 %, гранатовые пироксениты – 4 %, эклогиты не встречены. В целом содержание пироба и пикроильменита в «Зарнице» одно из самых высоких по провинции.

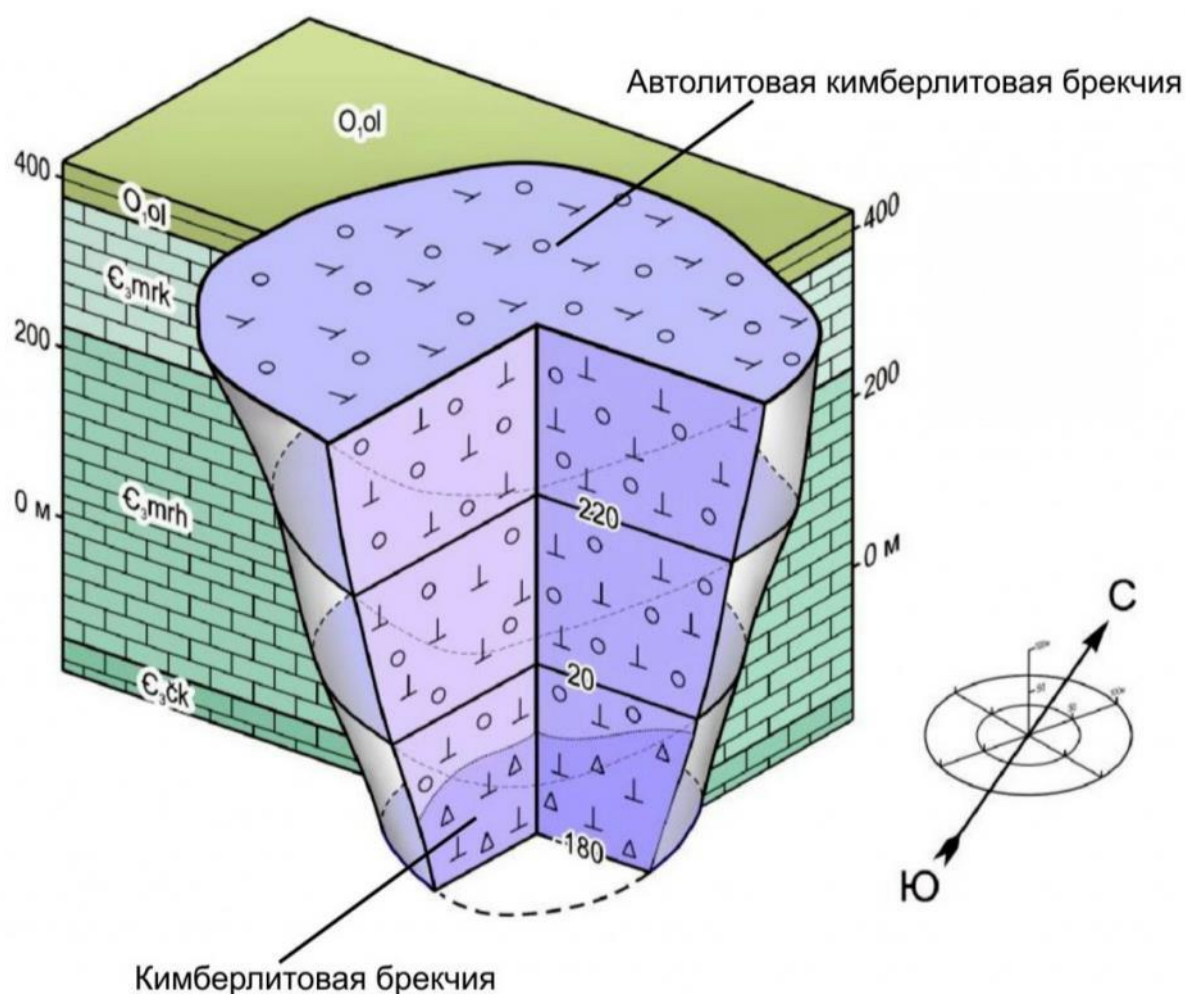


Рис. 4.3 Геологическая модель трубки «Зарница».

Подробная полевая характеристика вмещающих пород и отложений выполнена ранее. В районе карьерного поля месторождения она хорошо коррелируется как с разрезом в районе трубки «Удачная», так и со всем Далдынским полем в целом.

По результатам детальной разведки в трубке «Зарница» по текстурно-структурным особенностям выделяются три разновидности кимберлитов: автолитовая кимберлитовая брекчия, кимберлитовая брекчия с массивной

текстурой цемента и мелкопорфировый кимберлит (жильный тип). В разведанной части (до глубины 700 м) преобладает автолитовая брекчия, выполняющая рудное тело в интервале 0–400 м. Кимберлитовая брекчия с массивной текстурой цемента слагает рудное тело ниже горизонта +20 м. Жильный тип кимберлитов отмечается по всему разрезу, но доля его составляет не более 0,01 %.

В вертикальном разрезе отчетливо намечается зональность в распределении минеральных ассоциаций: серпентин-магнетитовая (до глубины 30–50 м), кальцит-пирит-битум-магнетитовая (до глубины 400–450 м) и гипсовая, гипс-магнетитовая (с глубины 400–450 м). Кроме ксенолитов карбонатных пород, в кимберлитовых брекчиях трубки «Зарница» отмечается большое количество разнообразных ксенолитов ультраосновных и метаморфических пород. Среди них явно преобладают обломки пород кристаллического фундамента, что очень характерно для большинства трубок Далдынского кимберлитового поля

Данные эксплуатации и эксплуатационной разведки подтверждают в блоке I-C1 единый технологический тип руды, представленный только автолитовой кимберлитовой брекчией.

В кимберлитовой автолитовой брекчии выделяются три разновидности: крупнопорфировая, среднепорфировая и мелкопорфировая.

Преобладающий цвет автолитовой кимберлитовой брекчии буровато-зелёный, серый, и темно-серый с зеленоватым оттенком, текстура – атакситовая, флюидальная и автолитовая. Атакситовая текстура представлена распространенными морфологическими типами: шлирово-такситовой, параллельно-шлировой и брекчиевидно-такситовой. Шлирово-такситовая текстура очень характерна для автолитовой брекчии по всему разрезу трубки «Зарница» и обусловлена неравномерным распределением ксенолитов вмещающих пород и автолитов. В автолитовой брекчии отмечается параллельно-шлировая текстура за счет чередования отдельных зон мощностью от 2 до 10 см и более, содержащих переменное количество ксенолитов, автолитовых обособлений и вкрапленников. Обогащённые составными компонентами пород (до 60–70 %) шпирсы с нечёткими, слабоизвилистыми контурами имеют протяжённость не более 1–3 м. Параллельно-шлировая текстура отмечается в автолитовой брекчии преимущественно в приконтактных участках тр. «Зарница».

Флюидальная текстура в автолитовой брекчии выражена не всегда одинаково хорошо. При большом количестве изометричных эллипсоидных обломков вмещающих пород, кимберлиты ранних фаз внедрения в текстурно-структурных элементах брекчий проявлены слабо. В случае присутствия

флогопита таблитчатой формы и заметного содержания удлинённых обломков следы течения в породе выделяются довольно резко.

Брекчиевидно-такситовая текстура часто переходит в автолитовую, при этом содержание автолитовых обособлений незначительно уменьшается, а их границы становятся более резкими и отчетливыми. Содержание автолитов колеблется от 6 до 8% породы. Среди автолитовых образований выделяется постепенный переход по размерности и морфологии от округло-угловатых до шарообразных и эллипсоидных. Автолиты ядерные, безъядерные с реликтовой оболочкой, отличаются флюидално-концентрической текстурой, обусловленной ориентированным расположением таблитчатых, игольчатых выделений флогопита и микролитов кальция. Средний размер автолитовых образований колеблется в пределах 8–15 мм. Величина ядерных автолитов может возрастать в зависимости от размеров ядер, однако, толщина оболочек при этом резко уменьшается. По составу автолитовые обособления (или оболочки ядерных автолитов) однородны и состоят на 40 микролитов кальция 50% из идиоморфных псевдоморфоз серпентина по оливину размером 1,5 мм; 5–10% микролитов кальция, 1–10% лейст, табличек флогопита, 2–3% мелких выделений рудных минералов (перовскита, магнетита, ильменита) и связующей массы серпентин-карбонатного, серпентин-хлоритового состава. Кроме автолитов в автолитовой брекчии важным составным компонентом текстурного узора являются обломки кимберлитов ранних фаз внедрения.

Иногда автолитовая брекчия обогащена более крупными округло-угловатыми, округлыми обломками крупнопорфирового кимберлита. Последний характеризуется высоким содержанием (50–60%) вкрапленников псевдоморфоз по оливину, значительная часть которых (20–30%) имеет размеры более 5 мм. Для крупнопорфирового кимберлита отмечается повышенная концентрация довольно крупных (5–15 мм) порфировых выделений пиропы и ильменита. Псевдоморфозы выполнены анизотропным слюдоподобным серпентином и неправильными зернами кальцита (заполняют ядра псевдоморфоз). По периферии в псевдоморфозах развивается тонкой каймой субизотропный серпентин с мелко распыленным магнетитом. В основной массе отмечаются идиоморфные псевдоморфозы кальцита по оливину с серпентин-магнетитовой тонкой каймой. Микролиты кальцита, расположенные беспорядочно, составляют небольшую долю (15–20%) среди компонентов основной массы. Участками кимберлит содержит до 5–10% таблитчатых, округлых выделений флогопита размером 0,5–1,0 мм. Часть табличек флогопита оптически зональна. Связующая масса кимберлита сложена карбонат-серпентиновым тонкозернистым агрегатом. В целом для крупнопорфирового кимберлита характерна повышенная

карбонатизация. Содержание ксенолитов карбонатных пород составляет в среднем 20%.

Автолитовая кимберлитовая брекчия (АКБ). Содержание ксеногенного материала в АКБ составляет 15–25%, на отдельных участках достигая 30–35%. Среди обломков резко преобладают ксенолиты осадочных пород. Включения глубинных пород крайне редки, и в подавляющем большинстве случаев они полностью серпентинизированы. Автолитовые кимберлитовые брекчии на 30–35% состоят из автолитов и на 15–20% из связующей массы. Ксеногенный материал располагается в ядрах автолитов, или непосредственно в связующей массе. Резко преобладают автолиты, состоящие из ядра и окружающей их оболочки. Автолиты порфировой структуры без центрального ядра встречаются гораздо реже. Размеры автолитов варьируют от десятых долей мм до 10, реже 30–40 см. Форма автолитовых образований близка к шарообразной. Ядра автолитов представлены, главным образом, псевдоморфозами серпентина по оливину, реже пиропом, ильменитом, флогопитом, хромдиопсидом, т.е. другими минералами-вкрапленниками кимберлитов и, как уже отмечалось, ксенолитами и включениями глубинных пород. В центре мельчайших автолитов располагаются перовскит, непрозрачный рудный минерал, мелкий флогопит. Оболочки часто не сплошные, варьирующей мощности или отсутствуют с какого-либо края. Ширина их изменяется от сотых долей мм до 5 мм, редко до первых сантиметров. Структура оболочек, в зависимости от ширины, афировая или порфировая. Оболочки порфировой структуры состоят из вкрапленников полностью измененного оливина величиной 0,1–0,5 мм, располагающихся в тонкозернистой основной массе из варьирующих количеств серпентина, карбоната, флогопита, непрозрачных рудных минералов и пироаурита. Серпентин наблюдается как в виде криптозернистого агрегата, так и слагает мелкие (0,01–0,02 мм) изометричные выделения, часть из которых может быть псевдоморфозами по монтичеллиту, часть псевдоморфозами по рудным минералам. Карбонат наблюдается в виде тонкозернистого агрегата и в виде микролитов величиной 0,05 мм.

Оболочки афировой структуры имеют аналогичный состав, но в них отсутствуют псевдоморфозы по оливину. По периферии некоторых автолитов наблюдаются оторочки, в которых карбонат имеет бурый цвет. Такого же цвета карбонат слагает мезостази́с в некоторых автолитах, где флогопит полностью замещен серпентином бурого цвета. На присутствие ранее флогопита здесь указывают призматическая форма выделения табличек и реликты спайности. Автолиты располагаются в связующей массе, состоящей из варьирующих количеств серпентина и мелко-, среднезернистого кальцита, который нередко образует крустификационные каймы вокруг автолитовых образований.

Порфиновый кимберлит. Вторая генетическая разновидность кимберлита трубки «Зарница» – порфиновый кимберлит светло-серой окраски с массивной текстурой. Содержание ксеногенного (осадочные породы) материала в кимберлите 2–5%. Размерность обломков в среднем 3–5 мм. Очень редко наблюдаются округлые обломки брекчии расщепления размером не более 10 мм. Структура кимберлита – мелко-среднепорфировая.

Среди порфировых выделений в основном наблюдаются псевдоморфозы по оливину, значительно реже таблички флогопита размером 2–4 мм. Достаточно редко встречаются угловатые или округлые зерна ильменита и граната.

Псевдоморфозы по оливину выполнены крупнозернистым, прозрачным кальцитом с редкими просечками изотропного бесструктурного серпентина. С периферии псевдоморфозы окружены серпентиновой неровной каймой. Мелкие идиоморфные и субидиоморфные псевдоморфозы по оливину почти полностью замещены кальцитом, реже кальцит-серпентиновым агрегатом. В основной массе равномерно распределены до 10–5% чешуйки, лейсты флогопита, частично кальцитизированного. Содержание рудных минералов примерно 1–2%.

Для порфирового кимберлита характерно широкое развитие карбонат-сульфидной минерализации в виде сети сложных прожилков или неправильных выделений. В отдельных случаях в большой мере проявлен процесс серпентинизации, где появляются в значительных количествах (до 20%) серпентин-кальцитовые, зеленовато-серые желваки, развивающиеся, главным образом, на месте псевдоморфоз по оливину.

Состав ксенолитов различного происхождения в породе трубки. Кроме ксенолитов вмещающих пород в породе встречаются, в более незначительных количествах, ксенолиты глубинных и метаморфических пород фундамента.

Содержание ксенолитов вмещающих пород варьирует от 10 до 40%, включений глубинных пород – не более 1%, метаморфических пород фундамента – 0,5–2%. Среди ксенолитов фундамента наиболее распространены альмандин содержащие кристаллические сланцы, эклогитоподобные породы и амфиболиты. Среди глубинных пород преобладают ультраосновные породы, при этом гранатсодержащие разновидности составляют 87%, а безгранатовые – 9%. Встречены катаклазированные разновидности (12%). Среди гранатовых ультрабазитов превалируют породы коэситовой (32%) и гроспидитовой (37%) фаций. Гранатовые пироксениты составляют 4%, а эклогиты не встречены. Ксенолиты вмещающих пород представлены обломками осадочных пород существенно карбонатного состава (криптокристаллические, мелко-, среднезернистые известняки, доломиты) и с примесью силикатных минералов (глинистые известняки, мергели и т.д.). Их соотношения в породе варьируют в

широких пределах. Морфология ксенолитов осадочных пород разнообразна. Для известняков, доломитов характерна изометричная, эллипсоидальная, реже округло-угловатая форма. Изменения ксенолитов карбонатных пород выражается, главным образом, их перекристаллизацией из мелко-среднезернистых в крупнозернистые с мозаичной структурой. Другие ксенолиты с большой долей глинистого субстрата характеризуются продолговато-уплощённой, плитчатой или неправильной формой. Они наиболее податливы к замещению серпентин-хлоритовым или вермикулит-хлоритовым агрегатом, а также к ассимиляции кимберлитовым материалом. В результате механического и температурного воздействия эти ксенолиты пластично деформируются и принимают самые причудливые формы.

В целом все разности автолитовой кимберлитовой брекчия трубки «Зарница» состоят из пяти доминирующих химических компонентов: SiO_2 , MgO , H_2O , CaO [Янников, 2021 ф]. Для кимберлита, слагающего приповерхностную и центральную части трубки, характерны повышенные содержания окислов кремнезема, магния и воды, а также пониженные количества CaO и CO_2 . Это связано с интенсивной степенью серпентинизации породы. С глубиной и по мере приближения к приконтактовым частям трубчатого тела с вмещающими породами в кимберлите наблюдается заметное снижение количества SiO_2 , MgO , H_2O . В кимберлите увеличивается содержание карбонатной (преимущественно кальцитовой) составляющей. В зависимости от колебаний количества флогопита в брекчии наблюдаются незначительные вариации концентраций K_2O , Na_2O и Al_2O_3 . Второстепенные окислы: TiO_2 , MnO , P_2O_5 существенно не перераспределяются при гидротермально-метасоматических процессах и в большей степени отражают первичные магматические неоднородности кимберлитового расплава. В целом кимберлиты трубки «Зарница» по содержанию основных петрогенных компонентов мало отличаются от многих трубок Далдынского кимберлитового поля. Повышенные количества окислов титана, марганца, а также зачастую высокая железистость кимберлитов трубки сближают ее с кимберлитовыми трубками «Дальняя» и «Фестивальная» этого же поля.

Кимберлитовая трубка «Зарница» расположена на плоской вершине водораздела ручья Дяха и его левого притока ручья Загадочного. Водораздел сложен терригенно-карбонатными отложениями нижнего палеозоя. Рудное тело выходило на дневную поверхность (абс. отм. +422 до +428м), где оно было перекрыто лишь элювиально-делювиальными отложениями (до 2–3 м). Кимберлиты трубки «Зарница» представлены тремя петрографическими разностями: автолитовая кимберлитовая брекчия, кимберлитовая брекчия и мелкопорфировый кимберлит (жильный тип). Вмещающие породы

представлены известняками, нередко доломитизированными и глинистыми, с прослоями мергелей. Кимберлиты и вмещающие породы характеризуются средней трещиноватостью (от 2–3 до 5–7 трещин на 1 п. м). На трубке «Зарница» прослеживаются три системы субвертикальных трещин. К первым двум системам (аз. 30–40° и 310–320°) крутопадающих трещин приурочены прожилки кальцита и магнетита, а к третьей системе (аз. 70°) приурочены многочисленные гидротермальные жилы, прожилки и линзы кальцита, магнетита и гематита, наиболее проявленные в юго-восточной части трубки. До кровли первой водоносной зоны преобладающим заполнителем трещин является лед. Мощность многолетнемерзлых пород 250–260 м. Льдистость кимберлитов с глубиной уменьшается от 5,16% до 0,37%, в среднем составляя 2,31%.

Гидрогеологические условия в районе месторождения «Зарница» относительно простые, что установлено при выполнении комплексных исследований на специализированных гидрогеологических скважинах глубиной до 700 м: 2-Г – в центральной части трубки, 1-Г – на юго-восточном, 3-Г – на восточном, 87 – на западном флангах рудного тела.

В районе месторождения трубки в соответствии с общепринятой классификацией по отношению к ММП выделяются три типа подземных вод: надмерзлотные, межмерзлотные, подмерзлотные [Шепелев, 1982, 1997, 2011]. Мощность многолетнемерзлых пород в районе месторождения составляет 250–300 м.

Надмерзлотные воды приурочены к сезонно-талому слою мощностью 0,8–2,0 м и не оказывают существенного влияния на эксплуатацию месторождения, поскольку проявляются только в летнее время и в незначительном количестве [Шварцев, 1996]. Химизм этих вод непостоянен и определяется количеством атмосферных осадков, литологией водовмещающих пород и является преимущественно гидрокарбонатным кальциево-магниевым с минерализацией 0,33–0,5 г/л. Воды агрессивностью по отношению к бетону не обладают.

Межмерзлотные воды во вмещающих породах имеют ограниченное распространение. Согласно геологическим материалам в пределах месторождения трубки «Зарница» отсутствуют и не будут оказывать влияние на ведение горных работ.

Подмерзлотные воды по данным разведки приурочены к верхнекембрийским и среднекембрийским отложениям.

Верхнекембрийский водоносный комплекс вскрыт на глубине 253–257 м (+177,4 ÷ +164,8 м, абс.). Мощность его от 13 до 32,6 м. Водообильность комплекса незначительная – 0,2 л/сек при понижении до 75 м. Вода преимущественно хлоридно-кальциевая с минерализацией 100–130 г/л [Шварцев, Шубенин, 1973]. В воде содержится растворенный углеводородно-

азотный газ в количестве от 0,03 до 0,58 г/л. Сероводород не обнаружен. Нередко отмечаются пленки нефти. Температура воды от -2 до -4°С. Подошвой комплекса служат практически непроницаемые пачки карбонатных пород общей мощностью до 250–300 м, отделяющие рассматриваемый водоносный комплекс от нижележащего, предопределяя его гидравлическую обособленность в целом по району.

Среднекембрийский водоносный комплекс вскрыт скважинами 87 на глубине 456 м (-139 м, абс.) и 3-Г на глубине 557,5 м (-134 м) и подразделяется на два водоносных горизонта:

– первый (верхний), приуроченный к отложениям чукукской свиты верхнего кембрия, представлен перемежающимися известняками и доломитами с подчиненным содержанием глинистых карбонатных пород (20%), относится к поровому типу коллекторов;

– второй, залегающий непосредственно под первым (без водоупорного горизонта), характеризуется преимущественным развитием среднекембрийских трещинно-кавернозных доломитов с высокой межзерновой пористостью, что и обусловило приуроченность к ним пластов-коллекторов с наиболее высокими для всего разреза коллекторскими свойствами, которые на 1–2 порядка выше, чем для вышележащего горизонта и на три порядка выше, чем для верхнекембрийского водоносного комплекса.

Мощность водоносной толщи среднекембрийского комплекса составляет 190–200 м. На скважине 3-Г при дебите 64,8 м³/сутки достигнуто понижение 200 м; водопроницаемость составила 1,4 м²/сут. В наблюдательной скважине реакции на верхнекембрийский комплекс не наблюдалось. Напор над кровлей порядка 300–320 м. Пьезометрические уровни фиксируются на абсолютных отметках +175 ÷ +176 м. Подземные воды комплекса представлены концентрированными рассолами хлоридно-кальциевого состава с минерализацией до 300–400 г/л. Микрокомпонентный состав: калий (11 г/л), бром (5 г/л), стронций и литий (десятые доли г/л), йод и бор (тысячные доли г/л). Воды имеют кислую реакцию рН среды. Газовый фактор варьирует от 0,2 до 0,4 г/л. Состав газов азотно-углеводородный, преимущественно – метановый. Сероводород не обнаружен. Температура воды в естественных условиях от -0,4 до -3°С. В кимберлитовом теле установлено наличие двух обводненных зон.

Кровля первой водоносной зоны встречена в трубке на глубинах 248–260 м (+176,9 ÷ +160,9 м, абс.). Зона представлена порово-трещиноватыми кимберлитами с мелко-среднепорфировой структурой и брекчиевой текстурой. Мощность ее изменяется от 1,9 до 27,1 м. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах 245–249 м (от +182,1 до +176,5 м), что

свидетельствует о наличии гидравлической связи между водоносными толщами рудного тела и вмещающих пород (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Глубина залегания и мощность первой водоносной зоны кимберлитов.

№№ п/п	№№ скважин	Глубина до кровли водоносной зоны, м	Абсолютная отметка кровли, м	Абсолютная отметка подошвы, м	Общая мощность зоны, м
1	2-Г	256,0	+169,5	+157,4	12,0
2	18	253,0	+172,9	+168,9	4,0
3	11	260,0	+168,2	+141,4	26,8
4	12	269,0	+168,6	+164,7	3,9
5	13	259,0	+173,4		
6	14	258,0	+172,9	+161,5	11,4
7	15	258,0	+175,1	+173,2	1,9
8	16	260,0	+160,9	+133,8	27,1
9	9	260,0	+167,7		
10	17	250,0	+171,6	+145,6	26,0
11	19	248,0	+176,9		

Водопроницаемость колеблется от 0,01 до 0,17 м²/сут при предельном дебите от 0,004 до 0,013 л/с. Воды представлены типичными рассолами с минерализацией 84–133,5 г/л. Газовый фактор в водах оценивается в 0,12–0,15 г/л. Содержание метана в растворенных газах достигает 90% (объемных). Отмечено присутствие тяжелых углеводородов (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Результаты ОФР в первой водоносной зоне кимберлитов

№№ п/п	№№ скважин	Интервал опробования, м	Дебит, л/с	Понижение, м	Водопроницаемость, м ² /сут.
1	2-Г	256-323	0,019	50,0	0,01
2	18	253-304	0,26	22,2	0,17
3	17	250-400	0,003	30,0	0,14
4	19	248-400	1,4x10 ⁻⁴	43,6	0,001

Вторая водоносная зона зафиксирована на глубинах 450–460 м (-25/ -35 м). Нижняя граница зоны не выявлена. Кровлей является плотный мелкосреднепорфировый кимберлит брекчиевой текстуры. Характерной особенностью этой зоны является наличие трещинно-кавернозно-поровых кимберлитов, поры которых частично заполнены гипсом, реже сульфидами. Эффективная пористость изменяется от 1,1 до 19% (в среднем 8,5%). Напор подземных вод над кровлей по скважинам составляет 200–210 м. Установившиеся уровни отмечены на глубинах 249–250 м (от +175 до +176 м, абс.). Водообильность этой зоны значительно выше, чем первой.

Водопроницаемость составляет до 60 м²/сут, т.к. при дебите 2,5 л/с достигнуто понижение уровня на 31,6 м. Гидравлической связи с первой водоносной зоной не установлено. По химическому составу воды второй зоны хлоридные кальциевые с минерализацией 193–353 г/л. Газовый фактор – до 0,3 г/л. В составе газов присутствует метан, тяжелые углеводороды, азот.

При отработке трубки «Зарница» до отметки +20 м вскрывается верхнекембрийский водоносный комплекс. Согласно календарному плану, дно карьера вскрыет кровлю верхнекембрийского водоносного комплекса в 2027–2028 гг. При расчете водопритоков в карьер с некоторым запасом использованы следующие гидродинамические параметры интервалов обводнения (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Параметры водоносных комплексов, принятые для расчетов.

Водоносный комплекс	ВВК	СВК
Проницаемость (Km), м ² /сут	0,2	1,4
Коэффициент пьезопроводности (a), м ² /сут	10 ³	10 ³
Вскрытие водоносного комплекса, год		
Вариант 1	2027	2032
Вариант 2	2028	2033
Отметка кровли, м абс.	+175	+20
Отметка подошвы, м абс.	+145	-
Вскрытие подошвы водоносного комплекса, год		
Вариант 1	2029	-
Вариант 2	2030	-
Напор над кровлей, м	20	155
Приведенный радиус, м	160	50

Учитывая описанные геолого-гидрогеологические условия месторождения, величины прогнозных притоков природных рассолов к карьерному полю сравнительно не велики (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Прогнозные притоки подземных вод к карьере трубки «Зарница»

Год	Отметка ведения горных работ, м абс.	Притоки подземных вод, м ³ /сут		
		ВВК + обводнённые кимберлиты	СВК	Сумма
2027	+150	49	-	49
2028	+150	40	-	40
2029	+130	39	-	39
2030	+100	38	-	38
2031	+70	37	-	37
2032-2033	+20	36	660	696

5. ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОГО ТАЛИКА ГТС РЕКИ СЫТЫКАН

Как отмечалось ранее, в пределах Далдынского кимберлитового поля одним из типов надмерзлотных вод являются подземные воды несквозных подрусловых таликов. Создание питьевого водохранилища на реке Сытыкан привело к формированию благоприятных условий, способствующих расширению изначально маломощного (10–20 м) природного подруслового талика. Формирование и последующая динамика изменений таких природно-техногенных объектов вызывают большой интерес и требуют подробного изучения, т.к. вопрос организации питьевого водоснабжения является приоритетной задачей, требующей должного научно-методического сопровождения и проведения соответствующих изысканий. Особое внимание данной проблеме уделяется в случае использования для этих целей поверхностных вод, т.е. речных водозаборов. Подобные источники воды в меньшей степени защищены от техногенного загрязнения и негативных климатических факторов. Уникальные криогидрогеологические условия Западной Якутии на заре промышленного освоения коренных месторождений алмазов предопределили источники не только питьевого, но и технического водоснабжения [Ершов, 1982, 2002]. На реках строились плотины и формировались питьевые водохранилища. В настоящий момент главным и единственным источником водоснабжения города Удачный и Удачинского ГОКа является водохранилище на р. Сытыкан. Происходящие в настоящее время климатические изменения, а именно участившиеся засухи, требуют проработки использования альтернативных источников водоснабжения.

Сытыканский гидроузел создан по проекту институтов «Якутнипроалмаз» и «ВНИИпромзолото» в 1972–1974 гг. для водоснабжения г. Удачный и Удачинского горно-обогатительного комбината (УГОК). Введен в эксплуатацию 26 сентября 1976 г. В состав гидротехнических сооружений (ГТС) гидроузла входят: водоподпорная плотина с воздушной и жидкостной замораживающими системами; береговой водосброс; сифонный водосброс, насосные станции перехвата и возврата дренажных вод в водохранилище, водозаборный узел с насосной станцией 1 подъема и водоводом. Емкость водохранилища составляет 34,1 млн м³, площадь – 6,18 млн м², высота ограждающей плотины – 23,2 м, длина плотины – 600 м.

Гидроузел расположен на равнинной реке Сытыкан (рис. 5.1). Створ плотины находится в 6,7 км от устья реки. Местность в окрестностях гидроузла имеет холмисто-рядовый рельеф с абсолютными отметками 303,0–432,5 м. Мощность деятельного слоя составляет 0,7–3,1 м, в зависимости от литологического состава пород.



1 – Водоохранилище и ГТС на реке Сытыкан; 2 – Аэропорт «Полярный»; 3 – г. Удачный;
Рис. 5.1 Вид на район гидроузла реки Сытыкан.

Долина реки Сытыкан в районе гидроузла имеет ассиметричный характер: правый берег более крутой (уклоны 0,2–0,25), левый – относительно пологий (уклоны 0,04–0,05). Отметка уровня воды 317,75 м (НПУ), отметка русла в створе плотины 298,8 м, средняя отметка гребня плотины 321,8 м.

В геологическом строении территории принимают участие терригенно-карбонатные отложения моркокинской свиты верхнего кембрия, перекрытые четвертичными образованиями. Породы верхнего кембрия, залегающие в основании плотины, водосброса и слагающие борта долины реки, представлены тонким переслаиванием известняков, доломитов, доломитизированных известняков, мергелей, известковистых песчаников, мощность отдельных слоев которых изменяется от нескольких сантиметров до 2 м, в среднем составляя 10–25 см. Цвет пород зеленоватый, желтовато-серый, красно-бурый. Отмечается резкая фациальная изменчивость и невыдержанность всех литологических типов пород. Наиболее часто наблюдается фациальный переход мергелей в глины и замещение полускальных разновидностей известняка и мергеля скальными породами. Смена фаций происходит на малых площадях, что ведет к частой смене инженерно-геологических условий по латерали. Залегание пород в

основном горизонтальное или слабонаклонное с падением слоев на Ю-З под углом 15°.

Полускальные терригенно-карбонатные породы отличаются сильной трещиноватостью и льдистостью. Особенно это характерно для мергелей, наиболее сильно подверженных процессам выветривания.

Менее выветрелые породы – известковистые песчаники, доломитизированные известняки, известняки, большей частью скальные, умеренно трещиноватые. Горизонтальные трещины напластования, пересекаясь с вертикальными трещинами, дают в этих породах характерную плитчатую отдельность. Лед распространен по трещинам, трещинного льда в пачках пород отмечается от 1,5–2,0% до 4,0–6,0 %. При вытаивании могут иметь место смещения отдельных блоков породы и связанные с этим осадки и перемещения. Осадки зависят от степени разрушенности пород, их начального многолетнемерзлого состояния, влажности-льдистости и могут достигать 10–15 см на 1 м оттаявшего слоя породы.

Четвертичные отложения представлены двумя генетическими типами: делювиальными образованиями и аллювием реки Сытыкан.

Делювиальные отложения, перекрывающие коренные породы на склонах, представлены суглинками и глинами с щебнем и плитчатыми обломками карбонатных пород. Их мощность на левобережном склоне реки изменяется от 2,0 до 5,8 м, на правобережном (в зоне канала) – от 1,1 м до 2,7 м. Делювиальные суглинки и глины фациально замещают друг друга. Цвет отложений красно-бурый или зеленовато-серый. Содержат до 30–35% обломков от щебня терригенно-карбонатных пород.

Аллювиальные отложения, залегающие на коренных породах верхнего кембрия, слагают русло, пойму и первую надпойменную террасу в левом берегу реки. Породы представлены песчано-гравийно-галечными отложениями мощностью от 1,3 м до 5 м. Содержание грубообломочного материала составляет в среднем 20–25%. Галька и гравий хорошо окатаны, размер их в среднем составляет соответственно 3–5 см и 0,5–1,0 см. По составу на 70% представлены карбонатными породами. Песок мелкозернистый, полимиктовый. Отложения сильно льдистые (от 10 до 74%), дающие при оттаивании осадку до 20–25 см на 1 м оттаявшего слоя. Лед присутствует в виде линз и прослоев мощностью до 2–4 см.

Напорный фронт гидроузла образует глухая каменно-земляная плотина с ядром из суглинка и экраном, пригруженная диабазом с нижнего бьефа. Построена по 1 принципу строительства с сохранением многолетнемерзлых грунтов в основании в мерзлом состоянии [Кузьмин, 2002]. Длина напорного

фронта 600 м. По гребню плотины проходит автодорога п. Полярный – г. Удачный с мостовым переходом через водосброс (рис.5.2).



Рис. 5.2 ГТС на реке Сытыкан.

В 2021–2022 гг. институтом Якутнипроалмаз была выполнена работа по оценке фильтрации на гидроузле на р. Сытыкан, прогноз дальнейшего развития ситуации [Янников, 2021г ф]. В результате проведенных обследований был выделен объект исследований – природно-техногенный талик, определены источники его формирования и питания, выделены зоны фильтрации и разгрузки. Причиной образования зон обходной фильтрации явилась совокупность факторов [Янников, Брычаев, 2022]:

- долина реки Сытыкан сложена карбонатными породами, имеющими достаточно высокую обнажённость в интервалах затопления;

- системы разнонаправленных трещин, наблюдаемые в кембрийских известняках, при неизменённом состоянии были выполнены жильным льдом, льдистость пород достигала 10%;

- водородное растепление пород от накопленных в водохранилище вод привело к деградации жильного льда, а направление трещин и разломно-

блоковое строение бортов водохранилища способствовало формированию природно-техногенного талика в наблюдаемом виде.

Совокупность упомянутых выше факторов, а также существенная неоднородность первоначальных фильтрационных характеристик массива, привели к формированию левобережной и правобережной зон обходной фильтрации (рис. 5.3).

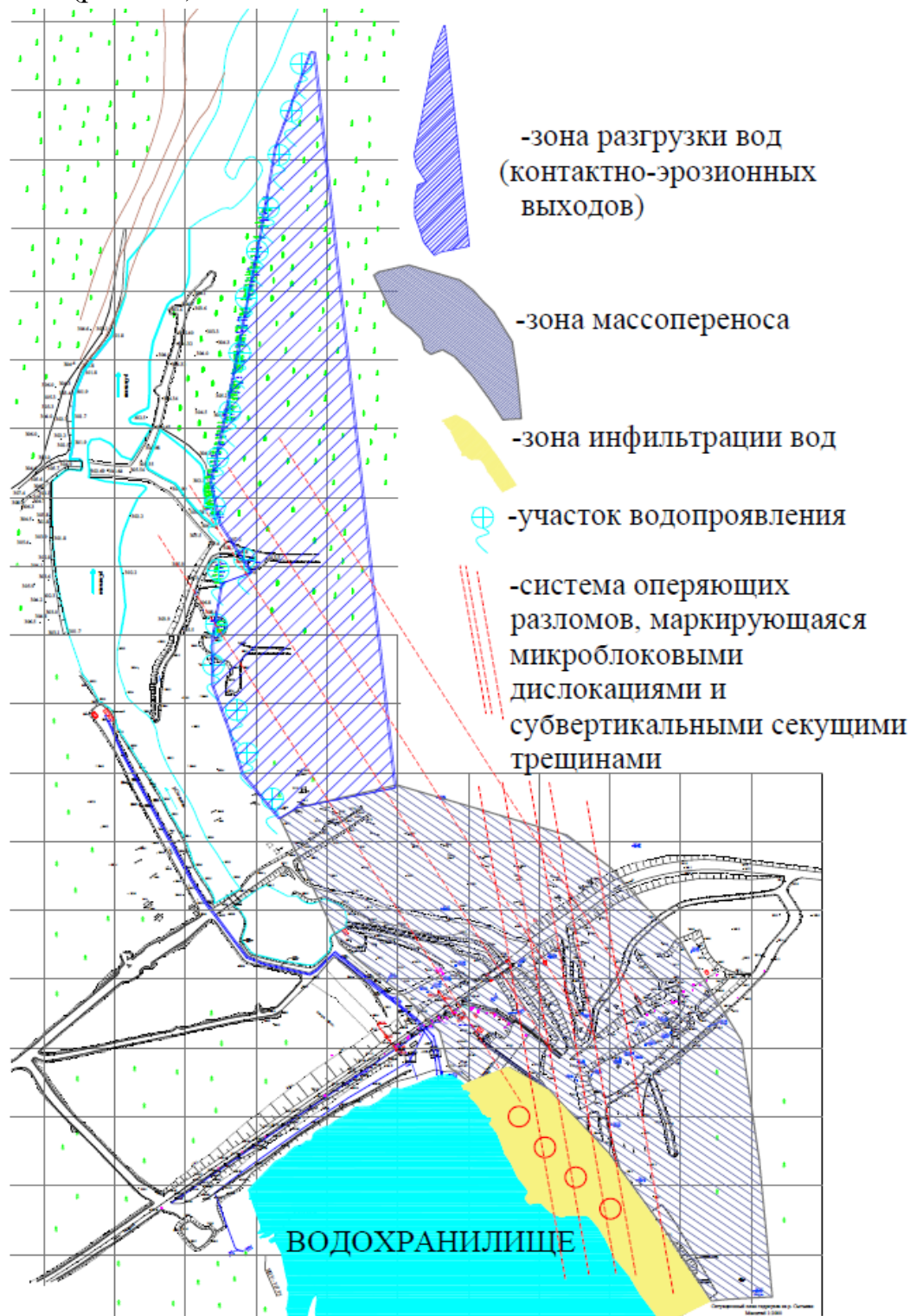


Рис. 5.3 Гидрогеологическая схема правобережного природно-техногенного талика.

Природно-техногенный талик, сформированный в настоящее время в правобережном примыкании имеет сложную конфигурацию, как в плане, так и в разрезе из-за предпринятых ранее работ, а также наличия мерзлотных завес, поддерживающих температурное поле самой плотины. Областью обеспеченного питания (зона инфильтрации) закономерно выступает непосредственно водохранилище. Предполагаемая зона инфильтрации в пределах правого берега составляет $\sim 800\text{--}900$ м (возможно до 1 км). Причём это относится к сформировавшейся объединённой зоне, так как проникновение воды происходит на всем береговом протяжении, но из-за отсутствия прямой взаимосвязи не происходит формирования неразрывного потока вод, который приводит к повсеместной деградации жильных льдов в пределах берегового примыкания и на глубину до 100 м.

Зона фильтрации обусловлена самим ГТС, а также техническими решениями, применявшимися на предыдущих этапах (частичная заморозка массива, укладка полимерной мембраны) [Тулисова и др., 2021]. Она сформировалась в пределах кембрийских известняков по системам субвертикальных трещин, субширотного и северо-западного простирания. Предполагаемые линейные размеры данной зоны (с учётом результатов комплекса наземной геофизики) достигают 700–900 м по направлению потока, до 400 м в борт и до 100 м в глубину. Необходимо отметить, что в настоящее время из приведенных линейных параметров физическое подтверждение получают только размеры рассматриваемой зоны по направлению потока, так как неоднократно фиксировались участки интенсивной фильтрации, и контактно-эрозионная разгрузка пресных вод в нижнем бьефе. Глубина распространения вод в разрезе и в плане (в сторону берега водохранилища) были изучены дополнительно при помощи бурения. Сформированная зона активной фильтрации соотносится с рельефом и напорным фронтом от водохранилища и не превышает 20–25 м в глубину.

Зона разгрузки представлена многочисленными выходами пресных вод, в виде контактно-эрозионных родников. На момент наблюдений (2021–2022 гг.) длина фронта оценивалась порядка 800 м, суммарным расходом источников ~ 9000 м³/час. Причем во временном разрезе наблюдается увеличение, как и фронта разгрузки, так и суммарного расхода (например, по результатам исследований 2010 г. фронт не превышал 500 м, а суммарный расход составлял до 7100 м³/час). Наблюдение за изменением объёма обходной фильтрации, в зависимости от уровня в водохранилище приведены в таблице 5.1, графическая интерпретация на рисунке 5.4.

Таблица 5.1

Динамика изменения расхода обходной фильтрации (по данным УГОКа)

Период наблюдения	Абс. отм. уровня в водохранилище, м						
	317,0	316,0	315,0	314,0	313,0	312,0	311,0
	Расход обходной фильтрации, м ³ /час						
2004-2005		7080	7080	6330	5210	4670	
2005-2006			6960	7050	6120	5190	4310
2006-2007			6870	6430	5660	4990	3400
2007-2008			7110	7130	6140	5200	3810
2008-2009		7850	7850	6940	5790	5030	
2009-2010				7100	6760	6120	
2010-2011		8180	8310	8310	6960	5980	
2011-2012		9000	8430	7480	6680	6400	
2012-2013		9350	8560	7740	7270	5790	
2013-2014		9600	8270	7980	7010	5170	
2014-2015		9440	9030	8500	8170	5410	
2015-2016		9710	8580	8180	6750	6270	5290
2016-2017			8960	7940	7190	6350	6010
2017-2018		9570	9570	8730	7410	6250	4140
2018-2019		9380	8940	8480	8470	7430	6380
2019-2020				8640	7410	7080	4400
2020-2021		10260	9100	8480	8120	7310	

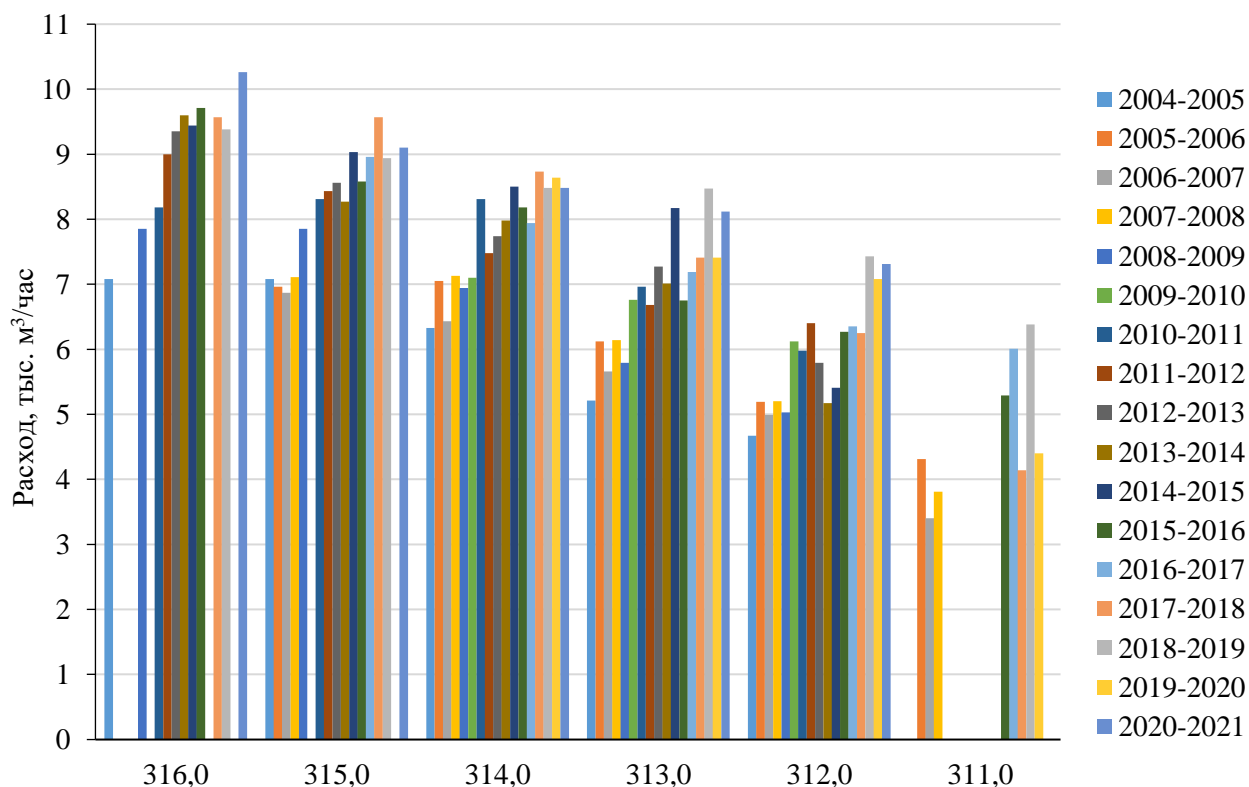


Рис. 5.4 Динамика изменения расхода обходной фильтрации на заданных отметках (от 311 до 316 м) в период с 2004 по 2021 гг. (по данным УГОКа).

Анализ представленных наблюдений позволяет сделать вывод о постепенном увеличении суммарного расхода обходной фильтрации в процессе наблюдения. Тренды на заданных отметках прослеживаются достаточно чётко. Отдельные минимумы отражают коррекционное изменение расхода в виду создания дополнительного фильтрационного сопротивления из-за реализации технических решений (мембрана и т.д.).

Необходимо отметить, что на формирование природно-техногенного талика непосредственное влияние оказало структурно-тектоническое строение [Дроздов, Дроздова, 2003]. Корреляция зафиксированных ранее разрывных нарушений, а также отмеченных в результате визуального обследования систем открытых субвертикальных трещин представлены на рисунке 5.3.

Усреднённый химический (анионо-катионный) состав воды в самом водохранилище и в точках выхода обходной фильтрации приведен в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Усреднённый химический состав вод за январь-июль 2021 (по данным лаборатории ПСЛ УГОКа)

№ п/п	Показатель	Ед. измерения	Водоохранилище	Зона обходной фильтрации
1	Калий (K^+)	мг/л	1,88	8,35
2	Натрий (Na^+)	мг/л	3,42	16,26
3	Кальций (Ca^+)	мг/л	46,57	91,44
4	Магний (Mg^+)	мг/л	22,91	41,07
5	Гидрокарбонаты (HCO_3^-)	мг/л	196,43	226,0
6	Сульфаты (SO_4^-)	мг/л	31,57	51,33
7	Хлориды (Cl^-)	мг/л	7,49	25,04
8	Минерализация	мг/л	281,24	427,17

Приведенные в таблице 5.2 значения, являются усреднёнными по результатам отобранных проб в период исследований. При анализе показателей отмечается рост практически всех основных анионов и катионов, а также суммарной минерализации.

Динамика сезонного изменения химического состава отобранных вод приведена в таблице 5.3 и на рисунках 5.5, 5.6.

Таблица 5.3

Динамика сезонного изменения химического состава (по данным лаборатории ПСЛ УГОКа)

месяц	точка отбора	(K ⁺)	(Na ⁺)	(Ca ⁺)	(Mg ⁺)	(HCO ₃ ⁻)	(SO ₄ ⁻)	(Cl ⁻)	Минерализация
		мг/л							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
январь	водохранилище	1,8	3,2	50,0	23,9	238,0	32,0	10,0	244,9
	зона фильтрации	3,3	6,9	57,0	26,9	238,0	54,0	10,0	298,4
февраль	водохранилище	2,57	4,4	60,0	28,9	247,0	42,0	10,0	394,87
	зона фильтрации	3,6	6,8	61,0	29,3	244,0	59,0	10,0	413,7
март	водохранилище	2,78	4,8	55,0	27,5	250,0	33,0	10,0	272,9
	зона фильтрации	3,1	6,7	59,0	29,7	244,0	43,0	10,0	298,7
апрель	водохранилище	3,5	6,9	70,0	34,3	250,0	61,0	10,0	435,7
	зона фильтрации 1	2,76	6,04	68,0	34,3	247,0	50,0	30,13	438,23
	зона фильтрации 2	3,5	7,8	69,0	37,0	246,0	51,0	42,57	456,87
	зона фильтрации 3	8,1	12,4	70,0	49,0	244,0	48,0	95,85	527,35
май	водохранилище	1,53	3,4	49,0	24,2	189,0	33,0	10,0	310,13
	зона фильтрации	2,31	4,2	65,0	32,7	259,0	31,0	10,0	404,21
июнь	водохранилище	0,5	0,5	16,5	9,2	88,0	10,0	1,3	146,9
	зона фильтрации	0,5	0,5	39,0	13,7	140,0	59,0	6,8	163,1
июль	водохранилище	0,5	0,77	25,5	12,4	113,0	10,0	1,1	163,3
	зона фильтрации	48,0	95,0	335,0	117,0	172,0	67,0	10,0	844,0

ВОДОХРАНИЛИЩЕ

M= 281,24 мг/л

ВОДЫ ТАЛИКА В ЗОНЕ РАЗГРУЗКИ

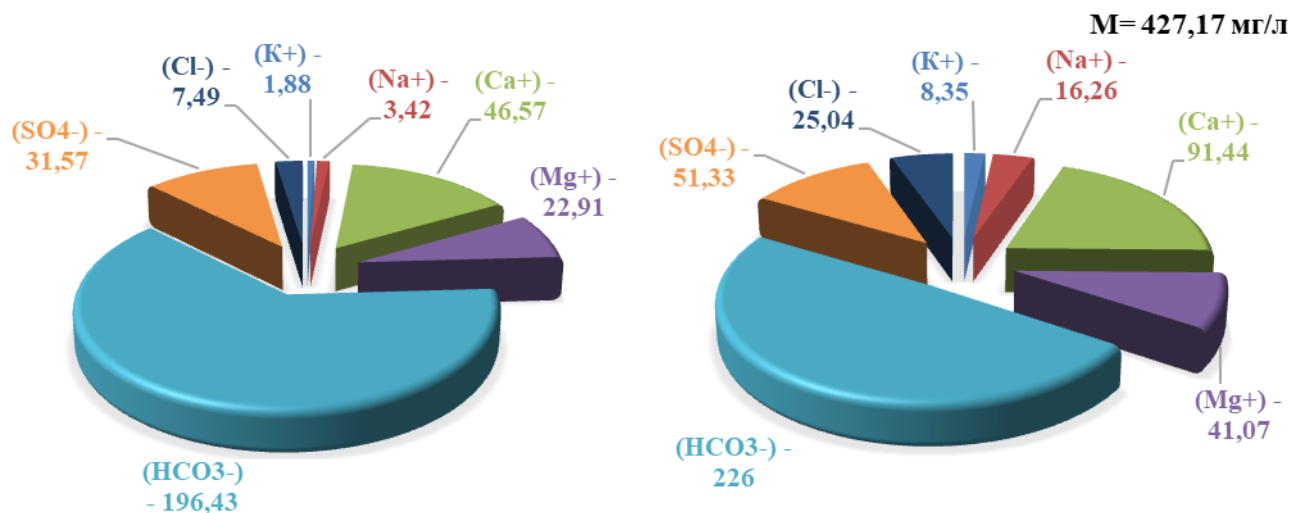
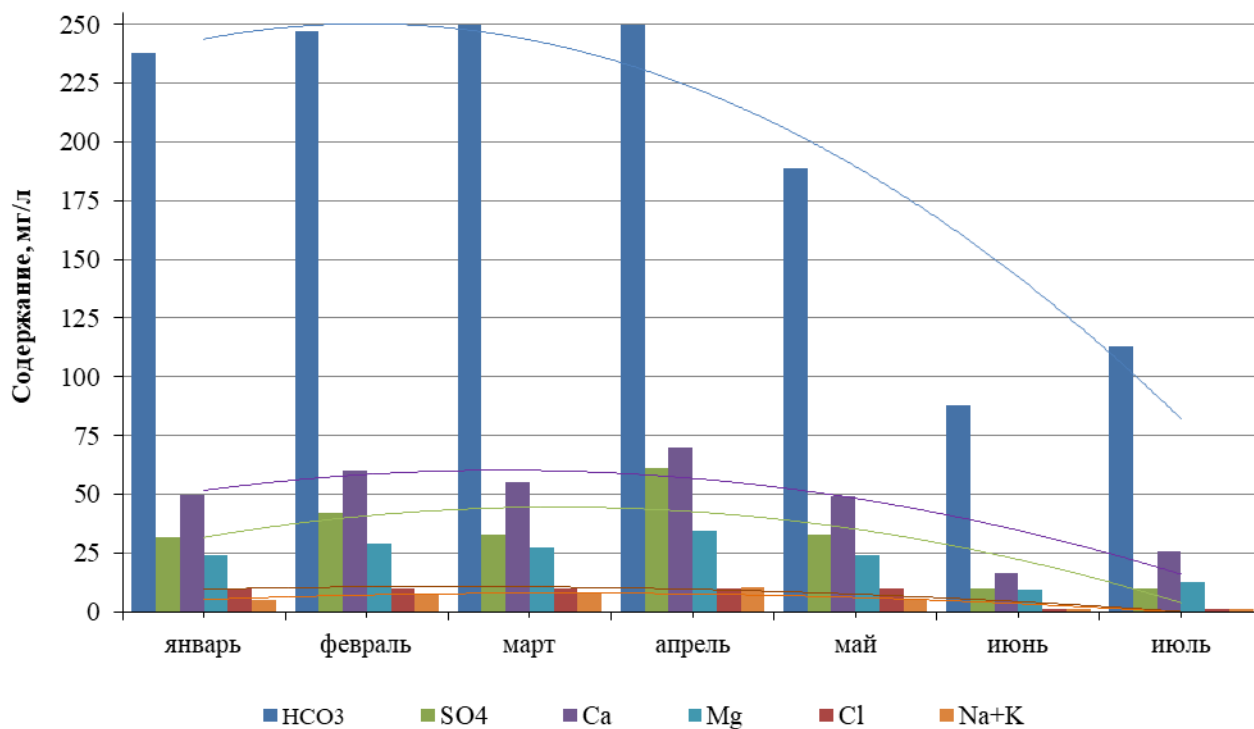


Рис. 5.5 Сопоставительный анализ усредненного химического состава вод в водохранилище и зоне обходной фильтрации.

Динамика изменения химического состава вод водохранилища



Динамика изменения химического состава вод обходной фильтрации

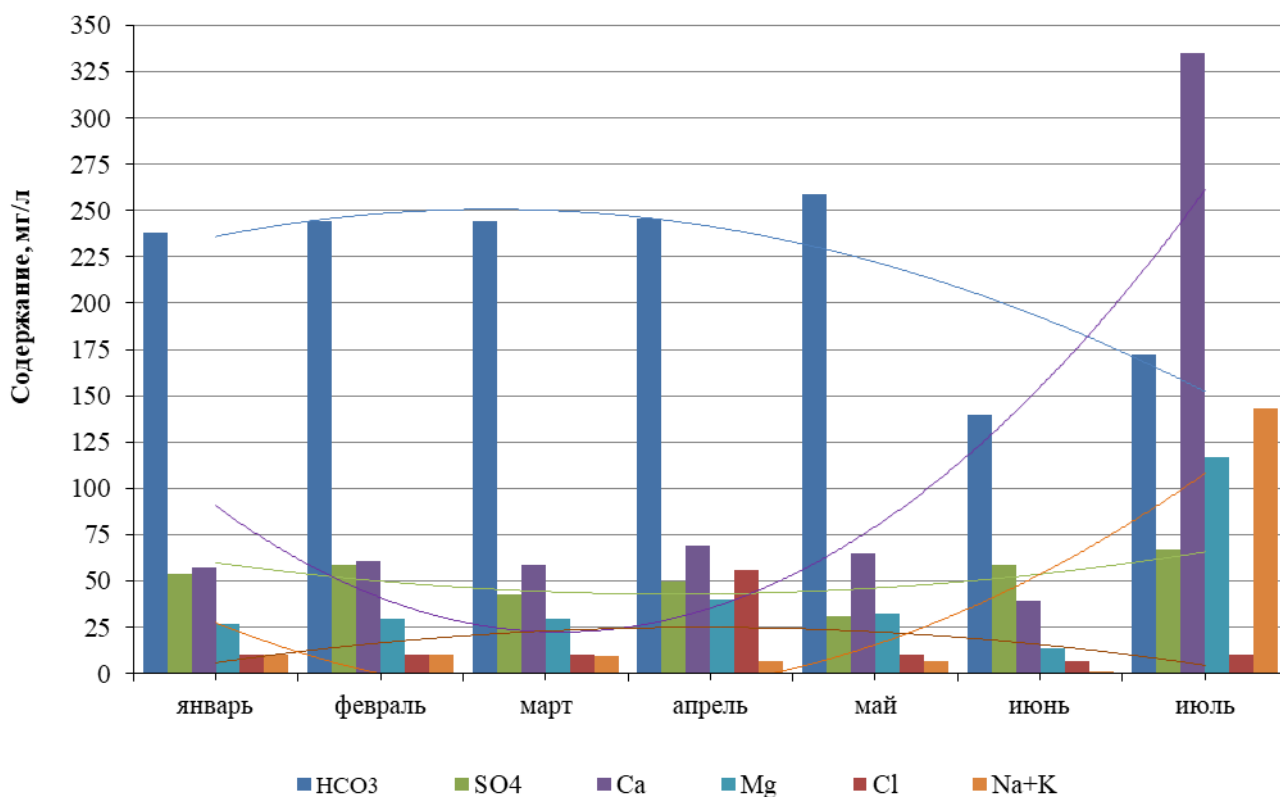


Рис. 5.6 Динамика изменения химического состава вод.

Следующим этапом, после интерпретации выполненных рекогносцировочных, пионерных исследований, а также площадной геофизики,

явились буровые работы, основной задачей которых являлось натурное изучение измененных криогидрогеологических условий в районе долины реки Сытыкан и прилегающей дневной поверхности. Скважины были использованы для наблюдения за вскрываемыми водами природно-техногенного правобережного талика. В рамках текущего исследования бурились наблюдательные и заверочные скважины, направленные на оценку геокриологического состояния пород, фиксации границы распространения мерзлое/талое (как в плане, так и в разрезе), а также заверка состояния пород, пребывающих в условно (прогнозно) неизменённом геокриологическом состоянии (скважина №5). Схема расположения скважин приведена на рисунке 5.7.

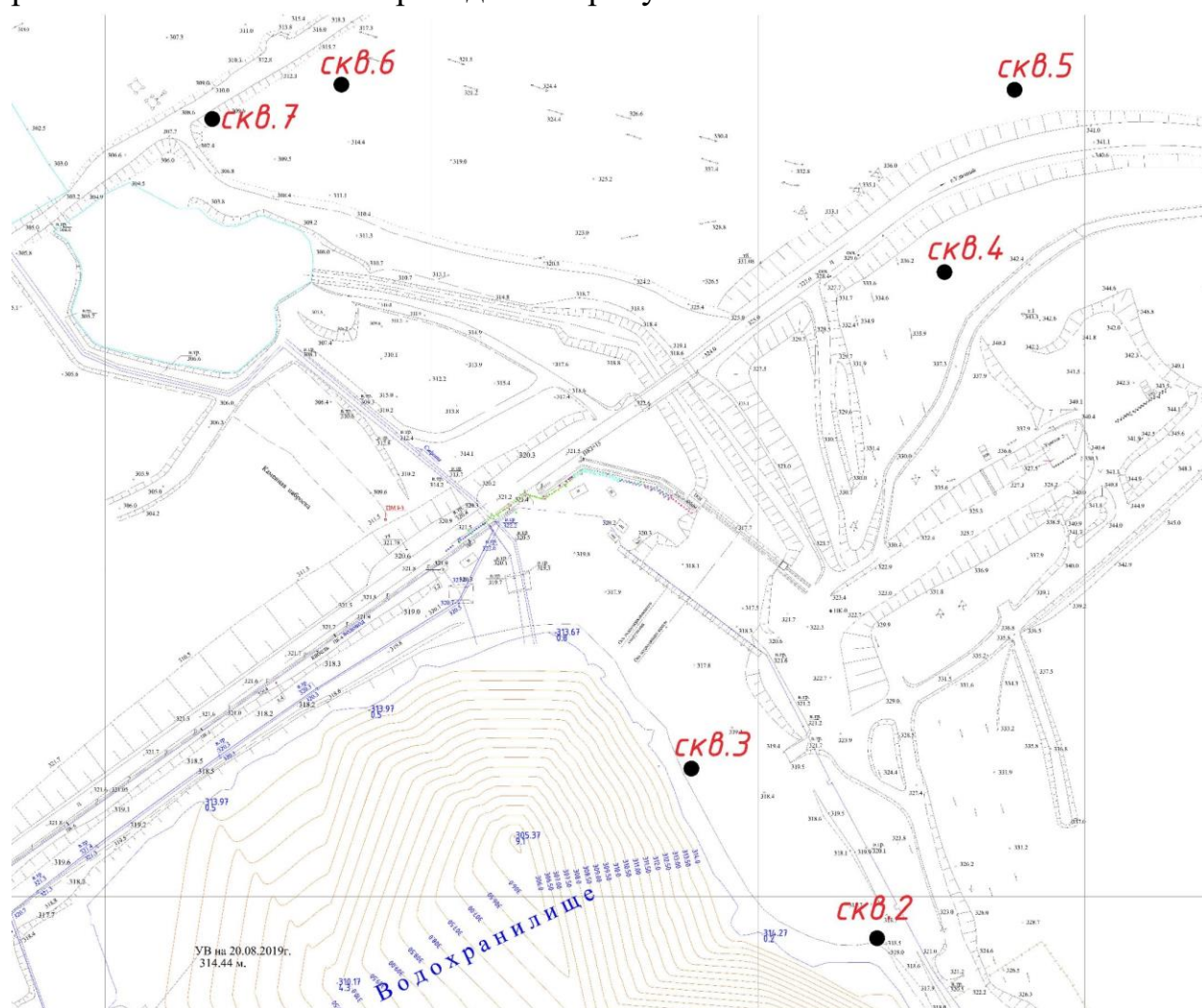


Рис. 5.7 Схема расположения скважин.

По той причине, что все без исключения скважины вскрыли воду, по ним были выполнены одиночные и кустовые откачки. Рассмотрим проведенные опытно-фильтрационные работы по каждой скважине отдельно.

Зона инфильтрации (питания)

В рассматриваемой зоне было пробурено 2 скважины – №2 и №3. Глубина скважин составляла 30 м. Главное назначение данных скважин – определение

фильтрационных параметров толщи, а также уточнение наличия экранирующих свойств.

Скважина №2: откачка была выполнена по достижению скважины проектной глубины 30 м. Откачка была выполнена эрлифтом в период 06.08.-07.08.2022 г. Всего было откачено 1150 м³ пресных вод. Средний расход составил 47 м³/час, при достигнутом понижении 0,3 м. График откачки приведён на рисунке 5.8.

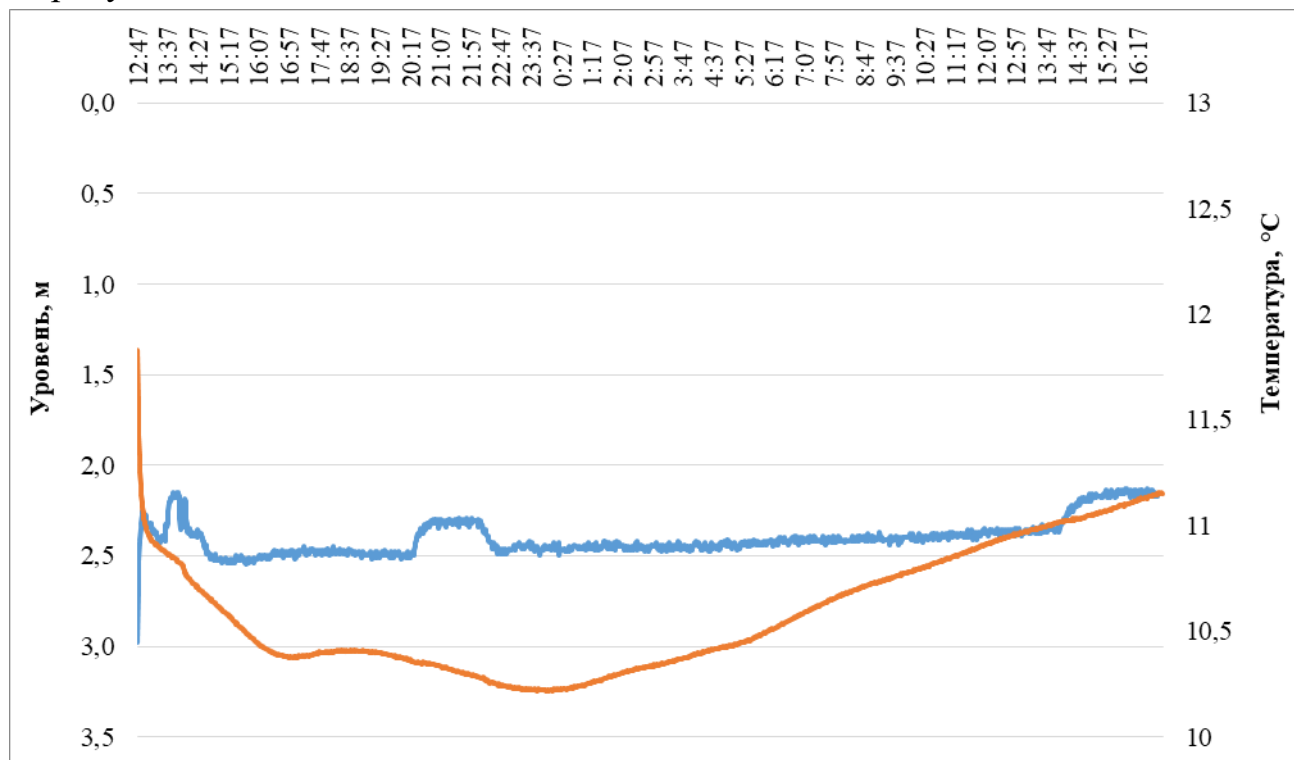


Рис. 5.8 Временное прослеживание откачки по скважине №2.

Расчётный коэффициент водопроницаемости составляет $KM \sim 5000-5600$ м²/сут; коэффициент фильтрации $K_f \sim 200-250$ м/сут.

Полученные параметры оцениваются как очень высокие [Ломтадзе, 1999], и являются подтверждением существенного растепеления массива, а также наличия в разрезе систем крупных (20 см и более) открытых водопроницающих трещин, проходящих через весь природно-техногенный талик.

Скважина №3: откачка была выполнена по достижению скважины проектной глубины – 30 м. Откачка была выполнена эрлифтом в период 15.08.-16.08.2022 г. Всего было откачено 1100 м³ пресных вод. Средний расход составил 45 м³/час, при достигнутом понижении 0,4 м. График откачки приведён на рисунке 5.9.

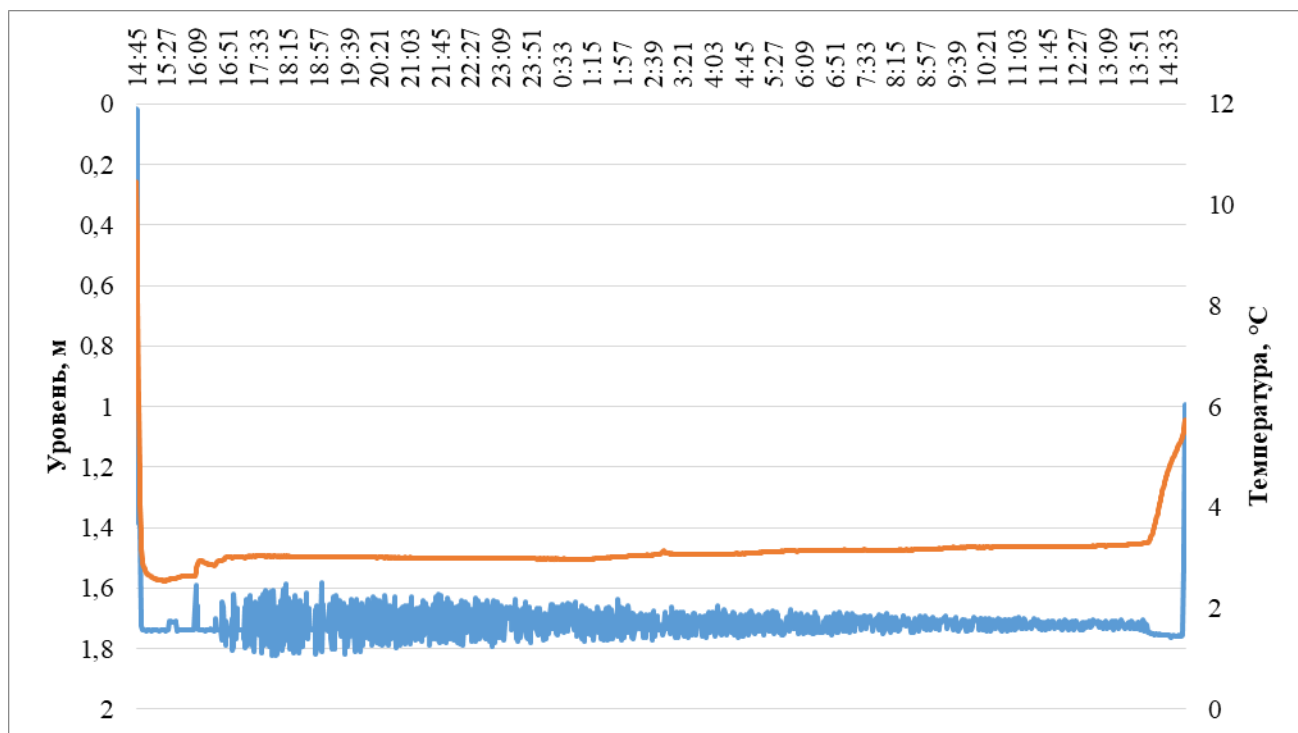


Рис. 5.9 Временное прослеживание откачки по скважине №3.

Расчётный коэффициент водопроницаемости составляет $KM \sim 4000\text{--}4800 \text{ м}^2/\text{сут}$; коэффициент фильтрации $K_f \sim 190\text{--}220 \text{ м}/\text{сут}$.

Полученные фильтрационные параметры также указывают на высокую проницаемость изучаемого массива. Однако характер понижения по скважинам №2 и №3 указывает на наличие экранирующих свойств, сформированных, по всей видимости, в результате укладки плёнки.

Проведенная в последующем погружным насосом кустовая откачка, продолжительностью 5 суток подтвердила рассчитанные фильтрационные параметры: $KM \sim 4800\text{--}6000 \text{ м}^2/\text{сут}$; $a^* \sim 10^{3-4} \text{ м}^2/\text{сут}$.

Зона разгрузки

В рассматриваемой зоне было пробурено 2 скважины – №6 и №7. Глубина скважин составляла 50 м. Главное назначение данных скважин, определение фильтрационных параметров пород. В процессе проведения ГИС по опытным скважинам разрез был разделён на 3 слоя, отличных по параметрам. Поэтому суммарно по двум скважинам было проведено 4 откачки. По скважине №6 откачки проводились на глубинах 30, 40 и 50 м. Без изолирования отдельных слоёв, что обуславливало рост суммарного расхода. По скважине №7 откачкой был опробован интервал 40–50 м.

Скважина №6: первая откачка была выполнена по достижению скважины глубины 30 м. Откачка была выполнена эрлифтом в период 06.07.-07.07.2022 г. Всего было откачено 160 м^3 пресных вод. Средний расход составил $13,5 \text{ м}^3/\text{час}$, при достигнутом понижении 1,3 м. График откачки приведён на рисунке 5.10.

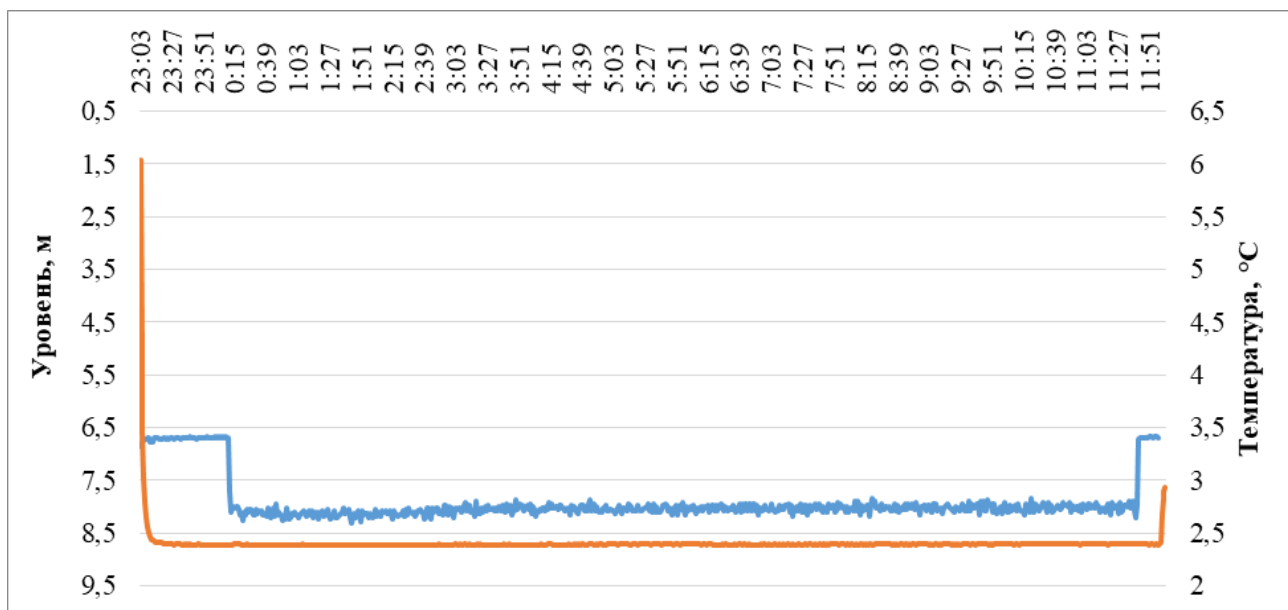


Рис. 5.10 Временное прослеживание откачки по скважине №6 при глубине скважины 30 м.

Расчётный коэффициент водопроницаемости составляет $KM \sim 400\text{--}480 \text{ м}^2/\text{сут}$; коэффициент фильтрации $K_f \sim 19\text{--}22 \text{ м/сут}$.

Вторая откачка была выполнена по достижению скважины глубины 40 м. Откачка была выполнена эрлифтом в период 08.07.2022 г. Всего было откачено 105 м^3 пресных вод. Средний расход составил $23,0 \text{ м}^3/\text{час}$, при достигнутом понижении $2,7 \text{ м}$. График откачки приведён на рисунке 5.11.

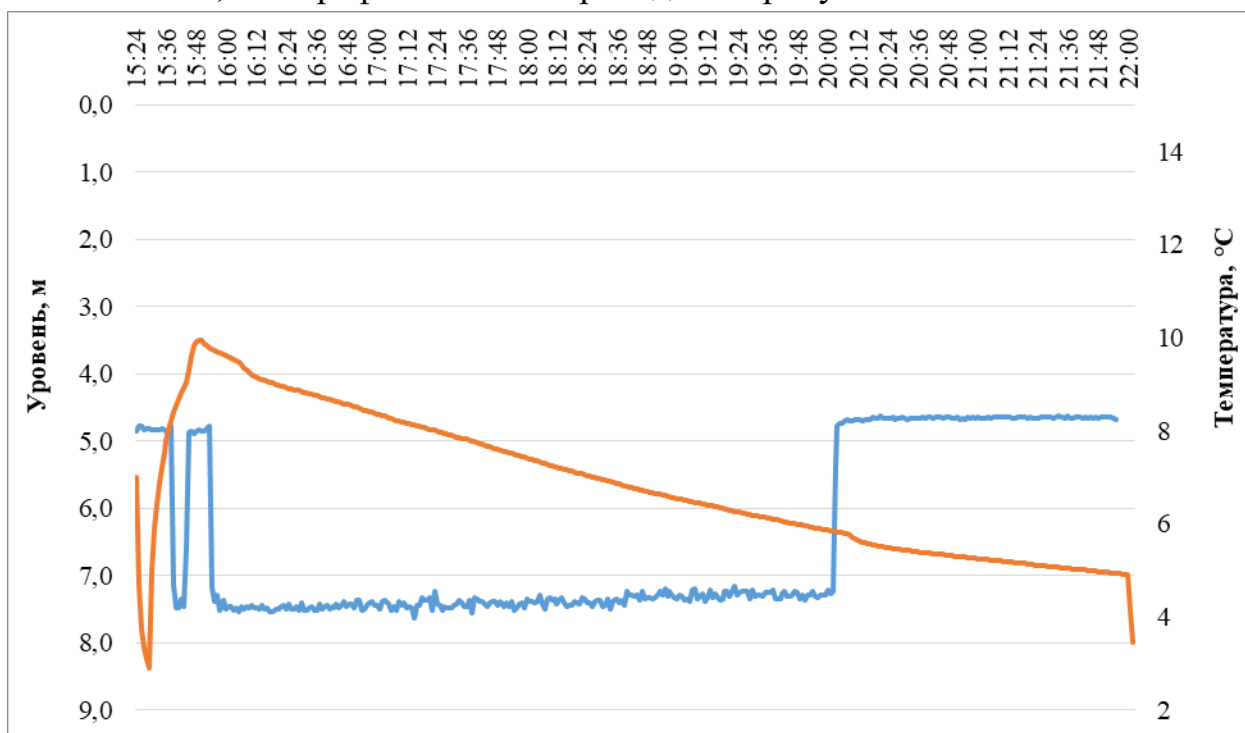


Рис. 5.11 Временное прослеживание откачки по скважине №6 при глубине скважины 40 м.

Расчётный коэффициент водопроницаемости составляет $KM \sim 300\text{--}410 \text{ м}^2/\text{сут}$; коэффициент фильтрации $K_f \sim 15\text{--}20 \text{ м}/\text{сут}$.

Третья откачка была выполнена по достижению скважины глубины 50 м. Откачка была выполнена эрлифтом в период 09.07.2022 г. Всего было откачено 210 м^3 вод. Средний расход составил $38,0 \text{ м}^3/\text{час}$, при достигнутом понижении 4,9 м. График откачки приведён на рисунке 5.12.

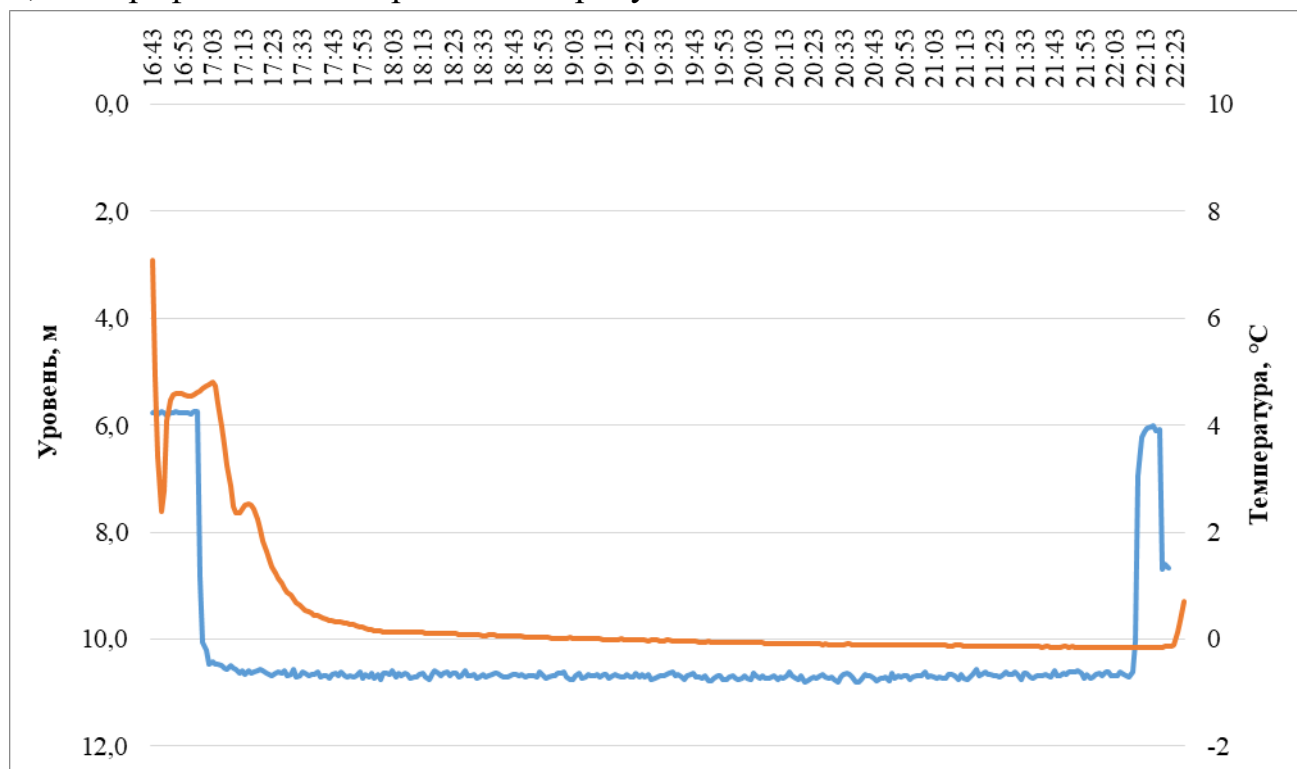


Рис. 5.12 Временное прослеживание откачки по скважине №6 при глубине скважины 50 м.

Расчётный коэффициент водопроницаемости составляет $KM \sim 280\text{--}370 \text{ м}^2/\text{сут}$; коэффициент фильтрации $K_f \sim 15\text{--}20 \text{ м}/\text{сут}$.

Скважина №7: откачка была выполнена по достижению скважины глубины 50 м. Откачка была выполнена эрлифтом в период 02.07.-03.07.2022 г. Был опробован интервал 40–50 м. Всего было откачено 4 м^3 вод. Средний расход составил $2,0 \text{ м}^3/\text{час}$, при достигнутом понижении 4,0 м. График откачки приведён на рисунке 5.13.

Расчётный коэффициент водопроницаемости составляет $KM \sim 18\text{--}20 \text{ м}^2/\text{сут}$; коэффициент фильтрации $K_f \sim 1,8\text{--}2,0 \text{ м}/\text{сут}$. Полученные фильтрационные параметры указывают на высокую проницаемость изучаемого массива до глубины 35–40 м, с последующим существенным уменьшением параметров (в 10 раз) в интервале 40–50 м.

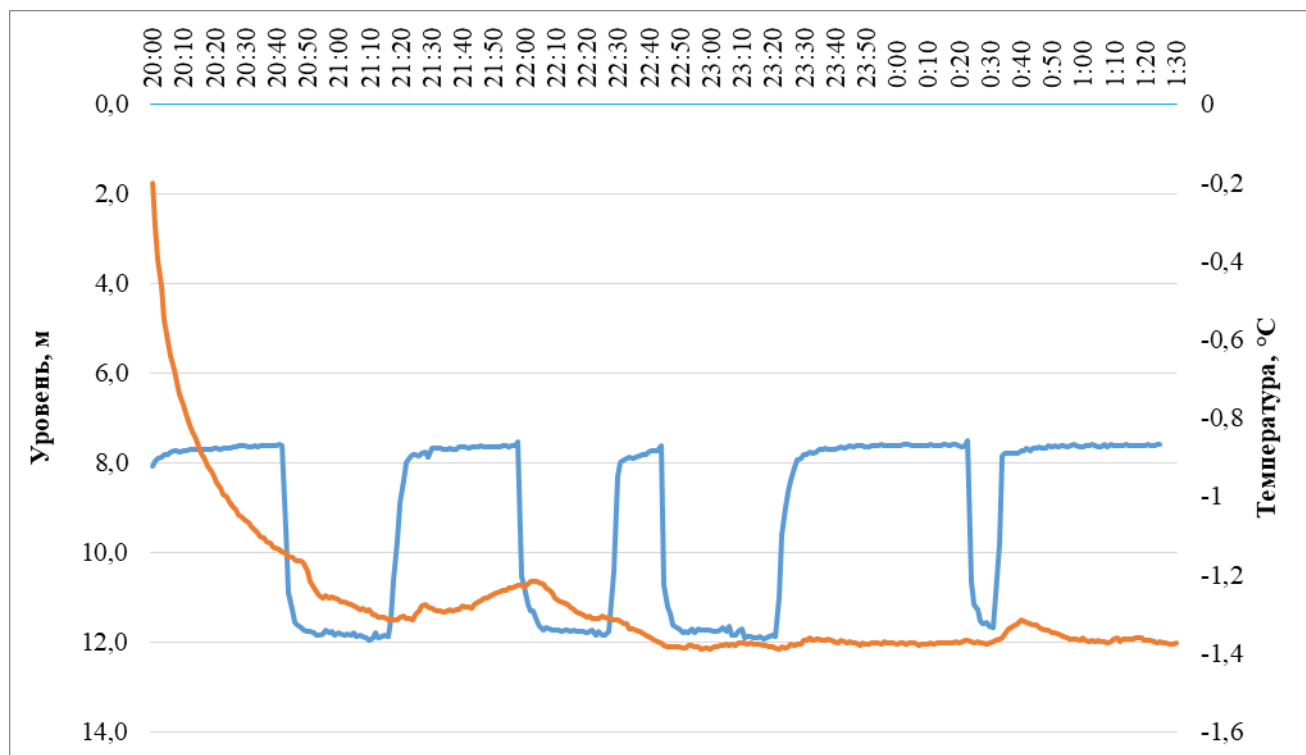


Рис. 5.13 Временное прослеживание откачки по скважине №7 при глубине скважины 50 м.

Зона фильтрации (массопереноса)

В рассматриваемой зоне было пробурено 2 скважины – №4 и №5. Глубина скважин составляла 100 и 50 м соответственно. Главное назначение данных скважин – определение фильтрационных параметров пород. В процессе проведения ГИС по опытным скважинам разрез также был разделён на 3 слоя, отличных по параметрам.

Для изучения проницаемости массива по скважине №4 откачки проводились на глубинах 50, 60, 70, 80, 90 и 100 м. С изолированием отдельных слоёв, для раздельного опробования.

Скважина №4: первая откачка была выполнена по достижению скважины глубины 50 м. Откачка была выполнена эрлифтом в период 22.07.2022 г. Всего было откачено 50 м³ пресных вод. Средний расход составил 8,5 м³/час, при достигнутом понижении 0,3 м. График откачки приведён на рисунке 5.14.

Расчётный коэффициент водопроницаемости в интервале 24–50,0 м составляет КМ ~ 1000–1100 м²/сут; коэффициент фильтрации Кф ~ 40–60 м/сут.

Вторая откачка была выполнена по достижению скважины №4 глубины 60 м. Откачка была выполнена эрлифтом в период 23.07.2022 г. Всего было откачено 5 м³ пресных вод

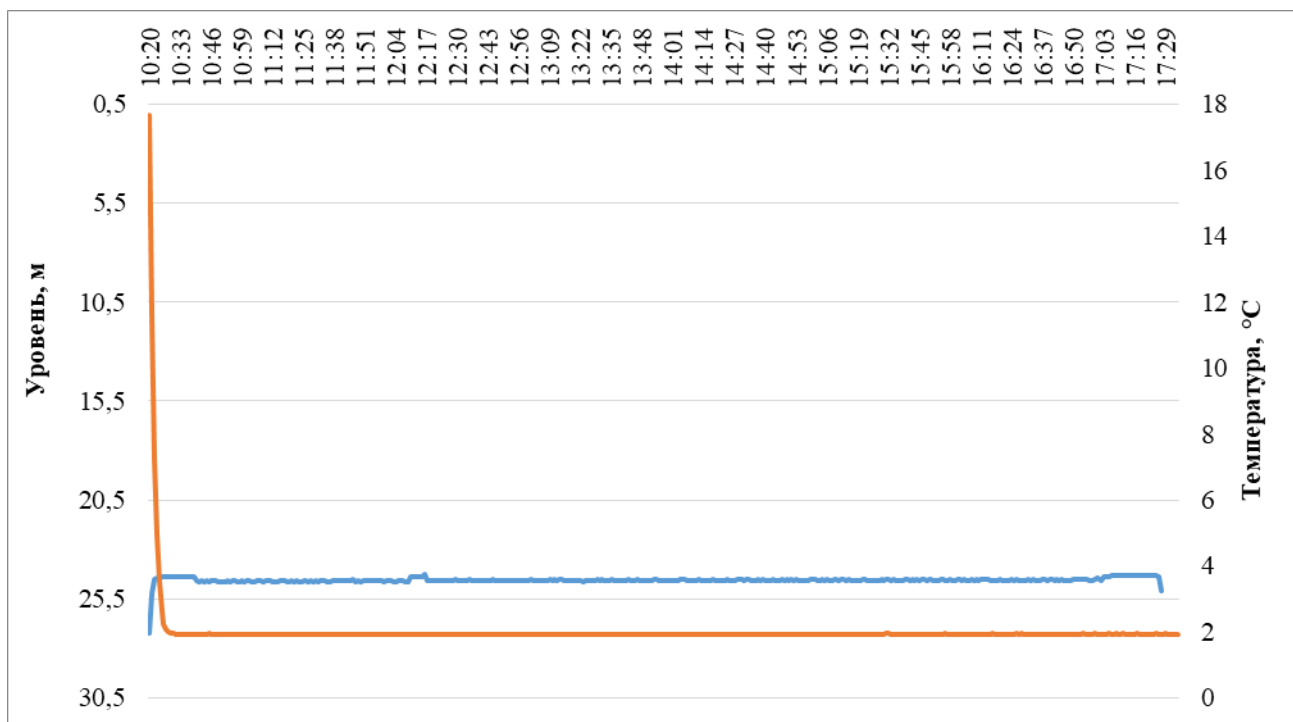


Рис. 5.14 Временное прослеживание откачки по скважине №4 при глубине скважины 50 м.

. Средний расход составил $2,0 \text{ м}^3/\text{час}$, при достигнутом понижении 1,5 м. График откачки приведён на рисунке 5.15.



Рис. 5.15 Временное прослеживание откачки по скважине №4 при глубине скважины 60 м.

Расчётный коэффициент водопроницаемости в интервале 50–60 м составляет $\text{КМ} \sim 48\text{--}60 \text{ м}^2/\text{сут}$; коэффициент фильтрации $\text{Кф} \sim 4\text{--}6 \text{ м}/\text{сут}$.

Третья откачка была выполнена по достижению скважины №4 глубины 70 м. Откачка была выполнена эрлифтом в период 25.07.2022 г. Всего было

откачено 30 м³ пресных вод. Средний расход составил 5,3 м³/час, при достигнутом понижении 6,7 м. График откачки приведён на рисунке 5.16.

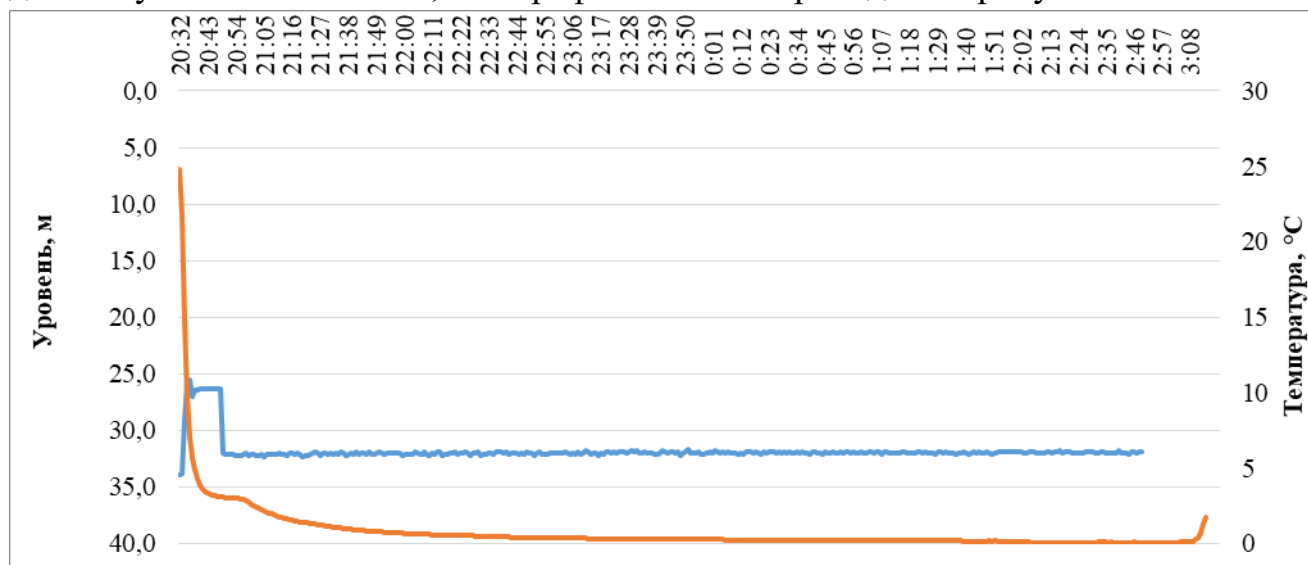


Рис. 5.16 Временное прослеживание откачки по скважине №4 при глубине скважины 70 м.

Расчётный коэффициент водопроницаемости в интервале 60–70 м составляет $KM \sim 28\text{--}30 \text{ м}^2/\text{сут}$; коэффициент фильтрации $K_f \sim 3\text{--}5 \text{ м}/\text{сут}$.

Четвёртая откачка была выполнена по достижению скважины №4 глубины 80 м. Откачка была выполнена эрлифтом в период 26.07.2022 г. Всего было откачено 1 м³ вод. Средний расход составил 0,5 м³/час, при достигнутом понижении 15,5 м. График откачки приведён на рисунке 5.17.

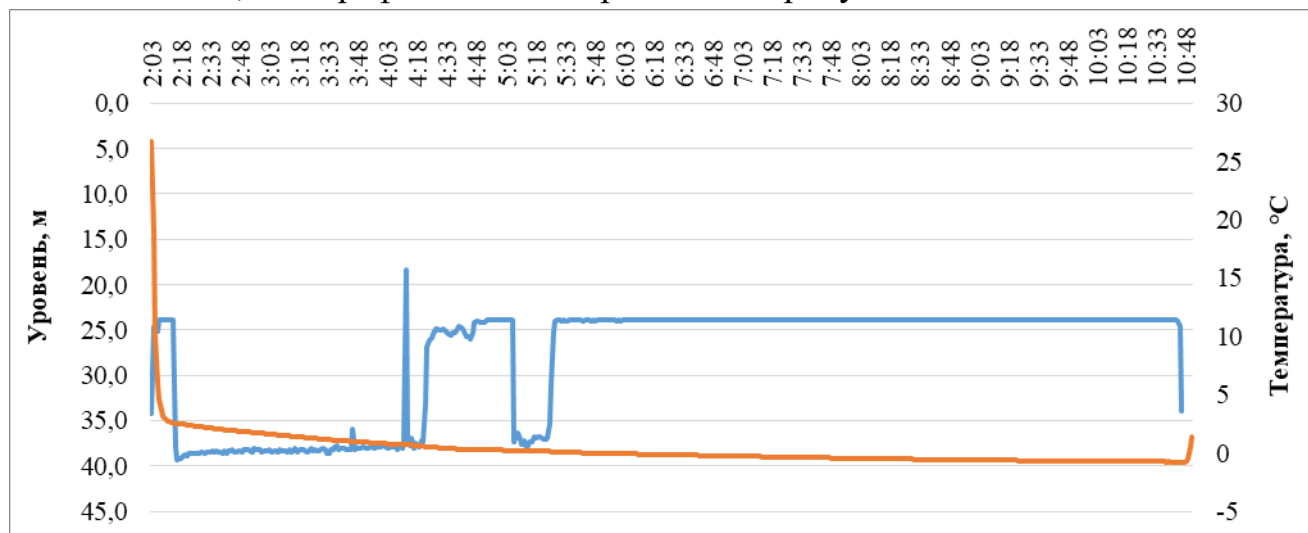


Рис. 5.17 Временное прослеживание откачки по скважине №4 при глубине скважины 80 м.

Расчётный коэффициент водопроницаемости в интервале 70–80 м составляет $KM \sim 1,5\text{--}3,0 \text{ м}^2/\text{сут}$; коэффициент фильтрации $K_f \sim 0,15\text{--}0,3 \text{ м}/\text{сут}$.

Пятая откачка была выполнена по достижению скважины №4 глубины 90 м. Откачка была выполнена эрлифтом в период 27.07.2022 г. Всего было откачено 10 м³. Средний расход составил 4,5 м³/час, при достигнутом понижении 22,1 м. График откачки приведён на рисунке 5.18.

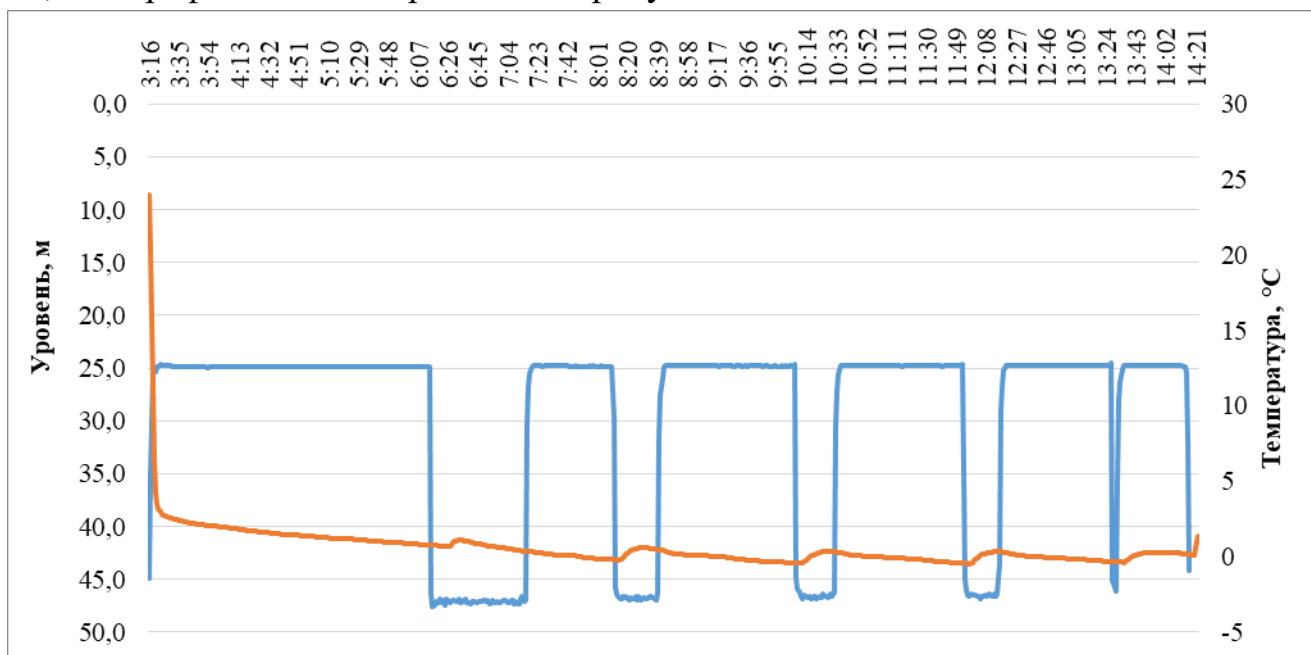


Рис. 5.18 Временное прослеживание откачки по скважине №4 при глубине скважины 90 м.

Расчётный коэффициент водопроницаемости в интервале 80–90 м составляет КМ ~ 7,5–15,0 м²/сут; коэффициент фильтрации Кф ~ 0,8–1,5 м/сут.

Шестая откачка была выполнена по достижению скважины №4 глубины 100 м. Откачка была выполнена эрлифтом в период 28.07.2022 г. Всего было откачено 8 м³ вод. Средний расход составил 7,6 м³/час, при достигнутом понижении 31,1 м. График откачки приведён на рисунке 5.19.



Рис. 5.19 Временное прослеживание откачки по скважине №4 при глубине скважины 100 м.

Расчётный коэффициент водопроницаемости в интервале 90–100 м составляет $KM \sim 8,8\text{--}20,0 \text{ м}^2/\text{сут}$; коэффициент фильтрации $K_f \sim 1,0\text{--}2,0 \text{ м}/\text{сут}$.

Проведенные за указанный период откачки позволили стратифицировать толщу изучаемых отложений, подтвердив выделенные по результатам ГИС интервалы: талик был разделён на три слоя. Первый наиболее проницаемый, второй наименее проницаемый и третий также проницаемый, но имеющий фильтрационные параметры на порядок ниже, чем у первого слоя. Верхний (первый) слой, приуроченный к зоне активного водообмена, характеризуется высокими и очень высокими коэффициентами водопроницаемости (до $5600 \text{ м}^2/\text{сут}$) и фильтрации (до $250 \text{ м}/\text{сут}$). Данный интервал насыщен пресными водами, пригодными для хозяйственного и питьевого водоснабжения. Коэффициенты фильтрации и водопроницаемости в интервале 45–100 м гораздо ниже: $KM \sim 1,5\text{--}20,0 \text{ м}^2/\text{сут}$; коэффициент фильтрации $K_f \sim 0,15\text{--}2,0 \text{ м}/\text{сут}$.

По результатам проведенного комплекса исследований было принято решение о построении фильтрационной модели природно-техногенного талика. Исходные параметры расчетного водоносного горизонта приняты по материалам выполненных опытно-промышленных и научно-исследовательских работ и корректировались на этапе калибровки модели. В плане природно-техногенный таликовый водоносный горизонт в силу изменчивости фильтрационных свойств водовмещающих пород, вызванных, прежде всего, литолого-фациальными и структурно-тектоническими факторами, принят кусочно-однородным. В качестве начальных условий при решении обратной задачи принималось распределение уровней подземных вод в начальный момент времени, задаваемых во всех точках исследуемой области фильтрации в виде известной функции координат. Начальное распределение напоров для прогнозирования изменения уровня подземных вод в пределах таликовой зоны задавалось по состоянию на август 2022 г. В пределах водоносного горизонта задавались следующие граничные условия: – условия разгрузки, в долине реки Сытыкан; – условия питания таликовых зон из водохранилищ; – условия питания таликовых зон атмосферными осадками, также реализовались ГУ III рода.

Калибровка гидрогеологической модели проводилась для нестационарных условий. Соответствие получаемого на модели распределения уровня подземных вод натурному положению контролировалось по опорным точкам, в качестве которых принимались опытные скважины. Результаты калибровки модели фильтрации подземных вод при решении обратной задачи указывают на вполне допустимую сходимость фактического положения уровней подземных вод, а также притоков к скважинам. Модельное распределение уровня подземных вод природно-техногенного талика на конец 2022 г. изображено на рисунке 5.20.



Рис. 5.20 Распределение уровней в природно-техногенном талике по результатам моделирования.

Выполненные исследования и последующие расчёты позволяют рассматривать несквозной талик реки Сытыкан как резервный источник водоснабжения, т.к. он обладает не только водами подходящего качества, но и требуемым ресурсным потенциалом, подтверждённым опытно-фильтрационными работами. Исходя из выше сказанного, в качестве основной рекомендации, предлагаемой к реализации, является управляемое водоотведение и перехват пресных вод в зоне интенсивного водообмена. Организация указанных процессов осуществима с помощью линейного водозабора, состоящего из ряда эксплуатационных скважин в зоне инфильтрации (в верхнем бьефе), а также (или) разрезной канавы глубиной 15–20 м, расположенной в нижнем бьефе водохранилища. Выявленные закономерности формирования природно-техногенных таликов будут учитываться при будущем строительстве ГТС в зоне сплошного распространения многолетнемёрзлых пород и для предотвращения негативного техногенного воздействия на криолитосферу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведя обработку и анализ выполненных гидрогеологических работ по сети опытных скважин, пробуренных из открытых горных выработок и с дневной поверхности; изучив результаты натуральных наблюдений, и проанализировав с последующей интерпретацией результаты опробования, правомерным будет сделать ряд следующих выводов и обобщений.

1. Выполненные исследования и материалы, приведенные в данной монографии, позволяют в полной мере оценить и охарактеризовать гидрогеологические и газодинамические условия Далдынского кимберлитового поля, а также условия отработки месторождений трубок «Зарница» и «Удачная».

2. Подтверждена главенствующая роль среднекембрийского и нижнекембрийского водоносных комплексов в формировании дренажных рассолов при отработке добычных блоков месторождений.

3. В целом для Далдынского кимберлитового поля выявлена достаточно высокая корреляция всех геофизических пластов и отложений. При этом отмечена определяющая роль структурно-тектонического фактора при формировании криогидрогеологических условий в пределах шахтных, карьерных полей и участков закачки.

4. Рассмотренные особенности коллекторов толщи ММП и НВК в пределах территории исследований позволяют оценивать возможность использования отдельных блоков-зон и глубинных разломов в качестве участков закачки для формируемых дренажных вод.

Новые данные получены с необходимой детальностью, позволяющей производить дальнейшую эксплуатацию месторождений, а также прогнозировать развитие сопряженных систем закачки. Таким образом, представленная информация о криогидрогеологических, гидродинамических, газодинамических, структурно-тектонических и литолого-фациальных условиях как главных коренных месторождений алмазов Далдынского кимберлитового поля – трубок «Зарница» и «Удачная», так и основных водоносных комплексах, является основой для дальнейшего развития как добычных (горных), так и научно-исследовательских работ [Янников и др., 2021].

Результаты исследований будут интересны в первую очередь специалистам-производственникам – работникам АК АЛРОСА, ее дочерних подразделений, а также другим недропользователям, осуществляющим свою производственную деятельность в пределах территории исследований. Но отдельно стоит отметить, что имеющаяся в монографии информация будет интересна и научным работникам, сфера интересов которых относится к коренным месторождениям алмазов, криолитозоне, насыщенным и ненасыщенным рассолам, в виду большого количества вновь полученного, проанализированного и впервые публикуемого материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*Опубликованная*

1. Абрамов, В. Ю. Криогидрогеологические условия кимберлитовой трубки Удачная и их изменения в связи с разработкой месторождения / В. Ю. Абрамов, В. А. Кирюхин, Л. И. Сердюков // Проблемы региональной гидрогеологии (VII Толстихинские чтения, 11-12 ноября 1998г.). – СПб., 1998. - С. 43-48.
2. Абрамов, В. Ю. Химическая зональность подземных вод, льдов и минералов как отражение криогенных процессов / В. Ю. Абрамов, В. А. Кирюхин // Проблемы изучения химического состава подземных вод (VI Толстихинские чтения, 11-12 ноября 1997 г.). - СПб., 1997 -. С. 30-35.
3. Авдеева, В. И. Стратиграфия позднекембрийских отложений Ботуобинского газоносного района. / В. И. Авдеева, О. Д. Драгунов, А. С. Ковтун // В книге «Новое в стратиграфии и палеонтологии позднего докембрия Сибирской платформы». – Новосибирск, 1976. - С 76-84.
4. Агринский, А. В. Результаты изучения гидрогеологических условий при разведке одной из кимберлитовых трубок в Западной Якутии / А. В. Агринский // Тр. ВСЕГИНГЕО. - 1980. - № 135. - С. 48–57.
5. Акишев, А. Н. Современное состояние и основные тенденции развития открытого способа разработки алмазородных месторождений АК «АЛРОСА» / А. Н. Акишев, И. Ф. Бондаренко, С. Л. Бабаскин // Проблемы и пути эффективной отработки алмазородных месторождений: Сб. докл. междунар. научн.-практ. конф., посвященной 50-летию института «Якутнипроалмаз». - Мирный. – Новосибирск: Наука, 2011. - С. 12–15.
6. Акишев, А. Н. Схемы вскрытия и отработки глубоких горизонтов алмазных карьеров крутонаклонными выработками / А.Н. Акишев, А.С. Чаадаев, В.А. Бахтин и др. // Горная промышленность. - 2008. - № 2. - С. 75–80.
7. Акишев, А. Н. Управление развитием рабочей зоны кимберлитовых карьеров / А. Н. Акишев, В. А. Бахтин, Е. В. Бондаренко // Горная промышленность. - 2004. - № 1. - С. 53–58.
8. Акишев, А.Н. Проектирование сверхглубоких алмазородных карьеров. Проблемы и решения / А.Н. Акишев, В.Ф. Колганов, И.Ф. Бондаренко и др. // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием: сборник докладов. - Апатиты- Санкт-Петербург, 2012. С. 160–165.
9. Акишев, А.Н. Техничко-технологический комплекс для доработки запасов на глубинных горизонтах алмазородных карьеров / А.Н. Акишев, И.В. Зырянов, Г.В. Шубин и др. // Горный журнал. - 2012. - № 12. - С. 39–43.
10. Алекин, О.А. Основы гидрохимии. - Л.: Гидрометеиздат, 1970. - 440 с.

11. Алексеев, В.Р. Криогенная метаморфизация природных вод / В.Р. Алексеев, А.В. Иванов // Проблемы зимоведения. - 1972. - Вып. 4. - С. 80-82.
12. Алексеев, С. В. База данных по геохимии подземных льдов, вод и рассолов Далдыно-Алакитского района / С. В. Алексеев, Л.П. Алексеева, В.Н. Борисов // Мат-лы XVI Всерос. совещ. по подз. водам Востока России. – Новосибирск, 2000б. – С.113-115.
13. Алексеев, С. В. Взаимодействие подземных вод и многолетнемерзлых пород в условиях техногенеза / С. В. Алексеев, Л.П. Алексеева // Мат-лы XVI Всерос. совещ. по подз. водам Востока России. – Новосибирск, 2000б. – С.77-79.
14. Алексеев, С. В. Геокриологическая и гидрогеохимическая оценки состояния массива пород в условиях захоронения техногенных вод карьера трубки Удачная / С. В. Алексеев, В.А. Павлов, Л.П. Алексеева и др. // Современные проблемы гидрогеологии и гидрогеомеханики (28 февраля-2 марта 2002 г.). – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2002а. - С.3-39.
15. Алексеев, С. В. Геохимические особенности подземных текстурообразующих льдов алмазоносных районов Западной Якутии / С. В. Алексеев, Л.П. Алексеева, А.М. Кононов // Лед и снег. - 2014. - № 1. - С. 101-113.
16. Алексеев, С. В. Геохимия дренажных рассолов кимберлитовой трубки Удачная / С. В. Алексеев, В.Н. Борисов, Л.П. Алексеева и др. // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже III тысячелетия. – Томск, ТПУ, 2000. – С. 575-579.
17. Алексеев, С. В. Геохимия подземных льдов в осадочных толщах Якутии / С. В. Алексеев, Пиннекер Е.В. // ДАН. – 2000. – Т. 373, №5. – С. 660-662.
18. Алексеев, С. В. Гидрогеохимическая зональность мерзлой толщи района трубки Северная (Западная Якутия) / С. В. Алексеев, А.В. Дроздов // XI Всесоюз. совещ. по подз. водам Востока СССР: Тез. докл. - Иркутск-Чита, 1985. - С. 114-115.
19. Алексеев, С. В. Гидрогеохимические особенности криолитозоны Далдыно-Алакитского района (Западная Якутия) / С. В. Алексеев, Пиннекер Е.В. // Проблемы изучения химического состава подземных вод. (VI Толстихинские чтения, 11-12 ноября 1997 г.). - Санкт-Петербург: СПбГУ, 1997. - С. 27-30.
20. Алексеев, С. В. Гидрогеохимия криолитозоны центральной части Якутской алмазоносной провинции / С. В. Алексеев, Л.П. Алексеева // Криосфера Земли. –2000. – Т. IV, №4. – С. 89-96.
21. Алексеев, С. В. Динамика состава дренажных вод при разработке алмазодобывающего карьера (Якутия) / С. В. Алексеев, Л.П. Алексеева, В.Н.

Борисов // География и природные ресурсы – Новосибирск: ВО «Наука», 2000а. - №4 - С. 143-146.

22. Алексеев, С. В. Изотопный состав (H, O, Cl, Sr) подземных рассолов Сибирской платформы / С. В. Алексеев, Л.П. Алексеева, В.Н. Борисов и др. // Геология и геофизика. - 2007. - Т. 48, № 3. - С. 291-304.

23. Алексеев, С. В. Изотопы хлора и брома в рассолах Западной Якутии / С. В. Алексеев, Л.П. Алексеева, А.М. Кононов и др. // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о земле. - 2015. - т. 13. - С. 19-30.

24. Алексеев, С. В. Итоги и перспективы захоронения дренажных вод кимберлитовой трубки Удачная в мерзлых породах / С. В. Алексеев, Л.П. Алексеева // Итоги геокриологических исследований в Якутии в XX веке и перспективы их дальнейшего развития. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2003 - С. 67-78.

25. Алексеев, С. В. Итоги изучения гидрогеохимического разреза криолитозоны Далдыно-Алакитского района / С. В. Алексеев, Л.П. Алексеева // XV Всерос. совещ. по подз. водам Сибири и Дальнего Востока: Тез. докл. - Тюмень, 1997. - С. 33.

26. Алексеев, С. В. Криогенез подземных вод Далдыно-Алакитского района (на примере Далдыно-Алакитского района Западной Якутии): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. Наук / С. В. Алексеев - Иркутск, 1987. -18 с.

27. Алексеев, С. В. Криогенез подземных вод Далдыно-Алакитского района / С. В. Алексеев // XII Всес. совещ. по подз. водам Востока СССР: Тез. докл. - Иркутск-Южно-Сахалинск, 1988.- С. 120.

28. Алексеев, С. В. Криогенез подземных вод и горных пород на примере Далдыно-Алакитского района Западной Якутии / С. В. Алексеев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. - НИЦ ОИГГМ, 2000. – 119 с.

29. Алексеев, С. В. Криогидрогеологические системы Якутской алмазоносной провинции / С. В. Алексеев. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. - 319 с.

30. Алексеев, С. В. Криогидрогеологические системы. Принципы типизации и картографического отображения / С. В. Алексеев, Л.П. Алексеева // Подземная гидросфера: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. – С. 144-147.

31. Алексеев, С. В. Криолитозона Далдыно-Алакитского района. Проблемы эволюции и освоения / С. В. Алексеев, Л.П. Алексеева // IV Междунар. междисциплинар. научн. симп. “Закономерности строения и эволюции геосфер”. - Хабаровск, 1998. - С. 399-401.

32. Алексеев, С. В. Литиевые подземные воды Иркутской области и Западной Якутии / С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева, А. Г. Вахромеев и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012б. - № 20. - С. 27-33.
33. Алексеев, С. В. Литиеносные подземные воды Иркутской области и Западной Якутии / С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева, А. Г. Вахромеев и др. // Горный журнал. – 2012а. - №2. -- С. 8-13.
34. Алексеев, С. В. Литиеносные подземные воды Сибирской платформы / С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева, А. Г. Вахромеев // Материалы Всероссийского научно-практического совещания с международным участием «Литий России» (24-26 мая 2011 г.). - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – С. 7-13.
35. Алексеев, С. В. Литиеносные рассолы Далдыно-Алакитского района (Западная Якутия) / С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева // География и природные ресурсы. – 2008. - № 2. - С. 103-108.
36. Алексеев, С. В. О взаимодействии криопэгов с мерзлыми грунтами / С. В. Алексеев, А. В. Дроздов // XII конф. молод. научн. сотр. по геол. и геоф. Вост. Сибири: Тез. докл. - Иркутск, 1986. - С. 152-154.
37. Алексеев, С. В. О криогенной метаморфизации подземных вод / С. В. Алексеев // III тематич. конф. молод. научн. сотр.: Тез. докл. - Иркутск, 1983. - С. 86-89.
38. Алексеев, С. В. Особенности миграции высокоминерализованных стоков карьера трубки Удачная в многолетнемерзлых породах при их подземном захоронении / С. В. Алексеев, В. И. Гунин, А. В. Дроздов и др. // Материалы Третьей Конференции геокриологов России. Т. 4. – М: Изд-во Моск. ун-та, 2005 – С. 5-12.
39. Алексеев, С. В. Первый опыт захоронения соленых дренажных вод карьера трубки Удачная в многолетнемерзлые породы / С. В. Алексеев, А. В. Дроздов, Т. И. Дроздова и др. // Криосфера Земли. - 2002. – Т. VI, № 2. – С. 61-65.
40. Алексеев, С. В. Природные и техногенные процессы в криолитозоне Якутской алмазоносной провинции / С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева, В. Н. Борисов // Материалы Второй Конференции геокриологов России. - Москва, МГУ, 2001. – Т. 2. – С. 3-9.
41. Алексеев, С. В. Рассолы глубоких горизонтов кимберлитовой трубки Удачная / С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева, А. С. Гладков и др. // Геодинамика и тектонофизика. - 2018. -Т. 9, № 4. -С. 1235–1253. doi:10.5800/GT- 2018-9-4-0393.
42. Алексеев, С. В. Стабильные изотопы (2H , 18O и 37Cl) в рассолах Сибирской платформы / С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева, О. Shouakar-Stash и др. // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России

(XVII совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока). - Иркутск-Красноярск: Изд-во Ирк. техн. ун-та, 2003. - С. 106-109.

43. Алексеев, С. В. Экологические последствия освоения месторождений алмазов Западной Якутии / С. В. Алексеев, В.Н. Борисов // I Междунар. конф. «Знание - на службу нуждам Севера»: Тез. докл. - Якутск, 1996. - С. 178.

44. Алексеев, С. В. Экспериментальные исследования криоформации рассолов Далдыно-Алакитского района вод / С. В. Алексеев // XI конф. молод. научн. сотр. по геол. и геоф. Вост. Сибири: Тез. докл. - Иркутск, 1984.- С. 158-159.

45. Алексеева, Л. П. Геохимия подземных льдов, соленых вод и рассолов криоартезианских бассейнов северо-востока сибирской платформы / Л.П. Алексеева, С. В. Алексеев // Геология и геофизика. - 2018б. - Т. 59, № 2. - С. 183-197.

46. Алексеева, Л. П. Геохимия подземных льдов, солёных вод и рассолов Западной Якутии : автореферат дис. ... доктора геолого-минералогических наук : 25.00.07 / Алексеева Людмила Павловна; [Место защиты: Нац. исслед. Том. политехн. ун-т]. - Томск, 2016. - 43 с.

47. Алексеева, Л. П. Новые данные об изотопии стронция в рассолах Далдыно-Алакитского района (Западная Якутия) / Л.П. Алексеева, Ф. Шабо, В.Н. Борисов и др. // Труды Международной конференции «Фундаментальные проблемы современной гидрогеохимии» (Томск, 4-8 октября 2004 г.). – Томск: Изд-во НТЛ, 2004. – С. 36-40.

48. Алексеева, Л. П. Промышленные подземные воды Оленёкского артезианского бассейна: геохимия и перспективы использования / Л.П. Алексеева С. В. Алексеев // Водные ресурсы. - 2018а. - Т. 45, № 1. - С. 42-51.

49. Анциферов, А.С. Гидрогеология древнейших нефтегазоносных толщ Сибирской платформы/ А.С. Анциферов. - М. : Недра, 1989. - 176 с.

50. Асташкин, В.А. Литолого-фациальная основа корреляционных стратиграфических построений в кембрийском рифовом комплексе Сибирской платформы / В.А. Асташкин // Стратиграфия и фации осадочных бассейнов Сибири. - Новосибирск: СНИИГиМС, 1982. - С 5-8.

51. Атрощенко, Ф.Г. Гидрогеологические проблемы на месторождениях алмазов Якутии / Ф.Г. Атрощенко, Р.А. Филин // Записки Горного института. – 2003. - Т. 153. - С. 123-125.

52. Атрощенко, Ф.Г. Исследование процессов, контролирующей миграцию минерализованных вод при их захоронении в многолетнемерзлые породы / Ф.Г. Атрощенко // Матер. Межд. научн. конф. «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов (на рубеже третьего тысячелетия). - Томск: Изд-во НТЛ, 2000. - С. 579-583.

53. Атрощенко, Ф.Г. Физико-химические процессы, контролирующие захоронение высокоминерализованных рассолов в многолетнемерзлые породы (на примере Октябрьского полигона, Западная Якутия, район кимберлитовой трубки Удачная) / Ф.Г. Атрощенко, В.Ю. Абрамов // Проблемы захоронения промтоходов в глубокие горизонты земных недр (Мат-лы 2 респ. науч.-прак. конф., Саратов, сентябрь, 2001 г.). - Саратов: Научная книга, 2001. - С. 71-72.

54. Баранов, И.Я. Геокриологическая карта СССР масштаба 1:10 000 000. Пояснительная записка / И.Я. Баранов. - М.: Изд-во АН СССР, 1960. - 48 с.

55. Баранов, И.Я. Геокриологическая карта СССР масштаба 1:5 000 000. Пояснительная записка / И.Я. Баранов. - М.: Изд-во АН СССР, 1970.- 52 с.

56. Басков, Е.А. Гидрогеологические структуры Восточной Сибири, Дальнего Востока и Северо-востока СССР / Е.А. Басков, Г.И. Климов, В.А. Кирюхин и др. // Основные типы гидрогеологических структур СССР. - Л.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1974. - С. 70-83.

57. Басков, Е.А. Основные черты гидрогеологии Сибирской платформы / Е.А. Басков, И.К. Зайцев // Тр. ВСЕГЕИ. Новая серия. - 1963. - Т. 101: Вопросы региональной и поисковой гидрогеологии. - С. 89-152.

58. Баулин, В.В. История развития многолетнемерзлых пород на территории СССР / В.В. Баулин, А.А. Величко, Н.С. Данилова // Проблемы геокриологии. - М.: Наука, 1983. - С. 222-230.

59. Бобров, А. К. К стратиграфии кембрия нижнего течения р. Олекмы. Материалы по геологии и полезным ископаемым Якутии / А. К. Бобров. – Тр. Якутского ФАН СССР. – Сб. 4. – 1959. – С. 155–164.

60. Бобров, А. К. Стратиграфия кембрия долины реки Лена между реками Ичером и Пеледуем / А. К. Бобров // В кн. «Геология и полезные ископаемые Якутской АССР». - Якутск. 1962. - С. 45-59.

61. Борисов, В.Н. Гидрогеохимическая зональность Западной Якутии (в связи с условиями отработки коренных месторождений алмазов) / В.Н. Борисов, С.В. Алексеев, А.Ю. Климов, В.А. Плешевенкова // Земная кора и верхняя мантия Восточной Сибири. - Иркутск, 1987. - С. 146-153.

62. Борисов, В.Н. К вопросу о взаимодействии рассолов и мерзлых пород / В.Н. Борисов, С.В. Алексеев // XII Всес. совещ. по подз. водам Востока СССР: Тез. докл. - Иркутск - Южно-Сахалинск, 1988. - С. 162.

63. Борисов, В.Н. Криогенное строение и емкостные свойства многолетнемерзлых пород (в Западной Якутии) / В.Н. Борисов, С.В. Алексеев // XIV Всерос. совещ. по подз. водам Востока России: Тез. докл. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 1994а. - С. 94.

64. Борисов, В.Н. Криопэги - особый фактор осложнения работ в криолитозоне / В.Н. Борисов, С.В. Алексеев // III Межд. симпозиум "Горное дело в Арктике": Тез. докл.- Санкт-Петербург, 1994б. - С. 150.

65. Борисов, В.Н. Метаморфизованные рассолы в сфере влияния горных работ / В.Н. Борисов, С.В. Алексеев, Л.П. Алексеева, В.А. Плешевенкова // Мат-лы XV Всерос. совещ. по подз. водам Сибири и Дальнего Востока. - Тюмень, 1997. - С. 32.

66. Борисов, В.Н. Многолетнемерзлые породы как объект для захоронения высококонцентрированных промстоков (на примере севера Сибирской платформы) / В.Н. Борисов, С.В. Алексеев // Мат. I конференции геокриологов России. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. - С. 160-170.

67. Брахфогель, Ф.Ф. Геологические аспекты кимберлитового магматизма северо-востока Сибирской платформы. / Ф.Ф. Брахфогель. - Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1984. - 128 с.

68. Бурова, И. А. Закономерности распределения и прогноз коллекторов в венд-кембрийском галогенно-карбонатном комплексе Сибирской платформы : На примере Непско-Ботуобинской антеклизы : автореферат дис. ... кандидата геолого-минералогических наук : 25.00.06 / Всерос. нефтяной науч.-исслед. геологоразведочный ин-т. - Санкт-Петербург, 2001. - 26 с.

69. Ваганов В.И. Алмазные месторождения Мира / В.И. Ваганов. - М.: Геоинформмарк, 2000. - 312 с.

70. Вахромеев А.Г. Закономерности формирования и концепция освоения промышленных рассолов (на примере юга Сибирской платформы): Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. – Иркутск, 2009. – 36 с.

71. Великин, С.А. Изучение фильтрации на гидротехнических объектах Якутии / С.А. Великин, С.Ю. Милановский, А.Г. Петрунин // Материалы Третьей Конференции геокриологов России. Т. 4. – М: Изд-во Моск. ун-та, 2005 – С. 50-59.

72. Великин, С.А. Комплексное геофизическое изучение инженерно-геокриологического состояния оснований гидро-и горнотехнических сооружений Якутской алмазоносной провинции : автореферат дис. ... доктора технических наук : 25.00.08 / Великин Сергей Александрович; [Место защиты: Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук]. -Якутск, 2020. - 42 с.

73. Великин, С.А. Локальный эколого-геофизический мониторинг криолитозоны / С.А. Великин, А.М. Снегирев, А.Д. Фролов // Геофизические исследования криолитозоны. – М.: Изд-во ОНТИ ПНЦ РАН, 2000. - Вып. 3. – С. 25-38.

74. Вельмина, Н.А. Особенности гидрогеологии мерзлой зоны литосферы (криогидрогеология) / Н.А. Вельмина. - М.: Недра, 1970. - 326 с.
75. Вельмина, Н.А. Особенности гидрогеологии области многолетнемерзлых пород и основные ее проблемы / Н.А. Вельмина // Методика гидрогеологических исследований и ресурсы подземных вод Сибири и Дальнего Востока. - М.: Наука, 1966. - С. 16-28.
76. Власов, В.М. Роль криогенной метаморфизации в формировании химического состава природных вод / В.М. Власов, Л.И. Павлова, А.В. Иванов // Междунар. геохим. конгресс: Тез. докл. - М., 1971. - Т. 2. - С. 799-800.
77. Вожов, В.И. Закономерности распространения многолетнемерзлых пород на Сибирской платформе / В.И. Вожов, А.И. Сурнин // Гидрогеология нефтегазоносных областей Сибирской платформы. - Новосибирск, 1982. - С. 5-8.
78. Всеволожский, В.А. Основы гидрогеологии / В.А. Всеволожский. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. - 351 с.
79. Втюрин, Б.И. Подземные льды СССР / Б.И. Втюрин. - М.: Наука, 1975. - 213 с.
80. Гавич, И.К. Гидрогеодинамика: Учебник для ВУЗов / И.К. Гавич. - М.: Недра, 1988. - 349 с.
81. Гавич, И.К. Основы гидрогеологической стратификации и обработки информации / И.К. Гавич. - М.: МГРИ, 1982. - 79 с.
82. Гасанов, Ш.Ш. Криолитологический анализ / Ш.Ш. Гасанов. - М.: Наука, 1981. - 112 с.
83. Гензель, Г.Н. Консервация карьера «Мир» и защита рудника от затопления в период перехода на подземный способ добычи / Г.Н. Гензель, Б.П. Воропаев, М.В. Якушенко и др. // Актуальные проблемы разработки кимберлитовых месторождений: современное состояние и перспективы решения. - М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2002. - С. 219-230.
84. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Э.Д. Ершова. - М.: Недра, 1989. - 515 с.
85. Геокриология СССР. Средняя Сибирь / Под ред. Э.Д. Ершова. - М.: Недра, 1989. - 414 с.
86. Геологическая карта Сибирской платформы и прилегающих территорий. Масштаб 1:1500000. Гл. ред. М.С. Малич. 1999.
87. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода: в 5 томах. Т.2: Система вода-порода в условиях гипергенеза/ С.Л. Шварцев и др.; отв. редактор тома Б.Н. Рыженко. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. - 389 с.
88. Геологический словарь. Т. 2. - М.: Недра, 1978. - С. 219-221.

89. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т.4. Сибирская платформа // Под ред. Н.С. Малича, В.Л. Масайтиса и В.С. Суркова. - Наука, Ленинград, 1987. - 448 с.
90. Геология нефти и газа Сибирской платформы / Под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова, А.А. Трофимука. - М.: Недра, 1981. - 552 с.
91. Геология СССР. Т. XVIII. Западная часть Якутской АССР. Часть I. Геологическое описание. Книга 2. / Под ред. Ф.Г. Маркова. - М.: Недра, 1970. - 256 с.
92. Геология Якутской АССР. - М.: Недра, 1981. - 300 с.
93. Геология СССР. Т. XVIII. Западная часть Якутской АССР. Ч. I. Геологическое описание. Кн. I / Под ред. Ф.Г. Маркова. - М.: Недра, 1970. - 536 с.
94. Геология, гидрогеология и геохимия нефти и газа южного склона Анабарской антеклизы. - Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1986. - 176 с.
95. Геология, гидрогеология и геохимия нефти и газа южного склона Анабарской антеклизы. - Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1986. - 176 с.
96. Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки месторождений алмазов / В. М. Подчасов, В. Е. Минорин, И. Я. Богатых и др. - Акционерная компания «АЛРОСА» Якутское научно-исследовательское геологоразведочное предприятие ЦНИГРИ. - Якутск : ЯФ ГУ Издательство СО РАН, 2004. - 548 с.
97. Геоэкология Севера (введение в геокриоэкологию). - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. - 270 с.
98. Гидрогеологические исследования за рубежом / Под ред. Н.А. Маринова. - М.: Недра, 1982. - 428 с.
99. Гидрогеология / Под ред. В.М. Шестакова и М.С. Орлова. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. - 317 с.
100. Гидрогеология Азии / Под ред. Н.А. Маринова. - М.: Недра, 1974. - 576 с.
101. Гидрогеология СССР. Сводный том. Вып. 1. Основные закономерности распространения подземных вод на территории СССР. - М.: Недра, 1976. - 656 с.
102. Гидрогеология СССР. Т. 20. Якутская АССР. - М.: Недра, 1970. - 384 с.
103. Гидрогеология СССР. Учеб. пособие для студентов гидрогеол. специальности горных и геол.-развед. Вузов / Г. Н. Каменский, М. М. Толстихина, Н. И. Толстихин. - Москва : Госгеолтехиздат, 1959. - 366 с.

104. Гиниятулин, И.М. Материалы к легенде Ботуобинской серии листов геологических карт масштаба 1:50000 / И.М. Гиниятулин, Д.В. Блажкун, Е.И. Ивашина др. - Министерство геологии РСФСР, Мирный, 1989. - 70 с.
105. Гольдберг, В.М. Подземное захоронение промышленных сточных вод // В.М. Гольдберг, Н.П. Скворцов, Л.Г. Лукьянчикова. - М.: Недра, 1994. - 282 с.
106. Готовцев, С.П. Прогноз эволюции многолетней мерзлоты при подземном захоронении высокоминерализованных подземных вод // С.П. Готовцев, И.В. Климовский, В.А. Михайлов и др. // Рациональное природопользование в криолитозоне. – Якутск: ИМЗ СО РАН, 1992. - С. 63-71.
107. Грабовников, В.А. Использование недр для экологически безопасного подземного захоронения токсичных жидких отходов // В.А. Грабовников, Ю.С. Татарчук, Ю.К. Шипулин // Геоэкологические исследования и охрана недр. - 1995. - № 4. - С. 38-48.
108. Гунин, В.И. Оценка условий захоронения техногенных рассолов в мерзлых породах на основе численного эксперимента / В.И. Гунин // Подземная гидросфера: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. - С. 377-380.
109. Данилов, И.Д. Подземные льды / И.Д. Данилов. – М.: Недра, 1990. - 140 с.
110. Данилов, Ю.Г. Месторождения алмазов в Якутии / Ю.Г. Данилов // Алмазы. Алмазодобывающая промышленность: сборник науч.-техн. информации. Вып. 2, 2012. - С. 5–7.
111. Дзюба, А.А. Разгрузка рассолов Сибирской платформы / А.А. Дзюба. - Новосибирск: Наука, 1984. - 156 с.
112. Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение. - М: Изд-во Моск. ун- та, 1967. - 404 с.
113. Достовалов, Б.Н. Общее мерзлотоведение / Б.Н. Достовалов, В.А. Кудрявцев. - М: Изд-во Моск. ун- та, 1967. - 404 с.
114. Дроздов, А.В. Захоронение дренажных рассолов в многолетнемерзлых породах (на примере криолитозоны Сибирской платформы) / А.В. Дроздов. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. - 296 с.
115. Дроздов, А.В. Захоронение промышленных стоков горнодобывающих предприятий АК «АЛРОСА» в криолитосфере / А.В. Дроздов // Горный журнал. – 2006б, № 6. - С. 12-15.
116. Дроздов, А.В. К вопросу о формировании криогидрогеологических структур Сибирской платформы / А.В. Дроздов // Наука и образование. - 2004. - № 4. - С. 62–69.

117. Дроздов, А.В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии / А.В. Дроздов, Н.А. Иост, В.В. Лобанов. - Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2008. - 507 с.

118. Дроздов, А.В. Особенности гидрогеологического строения и гидрохимической зональности кимберлитовой трубки Удачная / А.В. Дроздов, К.Н. Егоров, С.П. Готовцев и др. // Комплексные мерзлотно-гидрогеологические исследования. - Якутск: ИМ СО АН СССР, 1989. - С. 145–155.

119. Дроздов, А.В. Особенности миграции рассолов в мерзлой толще при подземном захоронении / А.В. Дроздов, С.В. Алексеев // Мат-лы XIII Всес. совещ. по подз. водам Востока СССР. – Иркутск - Томск, 1991. - С. 200.

120. Дроздов, А.В. Особенности миграции рассолов при их подземном захоронении / А.В. Дроздов, С. П. Готовцев // Формирование подземных вод криолитозоны. - Якутск: ИМЗ СО РАН, 1992. - С. 31-48.

121. Дроздов, А.В. Оценка водопроницаемости техногенного талика при захоронении стоков в многолетнемерзлых породах / А.В. Дроздов, Т.И. Дроздова // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XVII совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока). - Иркутск-Красноярск: Изд-во Ирк. техн. ун-та, 2003. - С. 113-115.

122. Дроздов, А.В. Подземное захоронение дренажных рассолов в многолетнемерзлые породы (на примере Удачинского ГОКа в Западной Якутии) / А.В. Дроздов // Геоэкология. - 2005, №3. - С. 234-243.

123. Дроздов, А.В. Природные и техноприродные резервуары промышленных стоков в криолитозоне (на примере Якутской части Сибирской платформы) / А.В. Дроздов. - Якутск: Изд-во СВФУ, 2011. - 416 с.

124. Дроздов, А.В. Структурно-тектонические критерии оценки приемистости массивов для захоронения сточных вод алмазодобывающих предприятий в криолитозоне Западной Якутии / А.В. Дроздов // Криосфера Земли. – 2006а. - Т. X, № 2. - С. 27-45.

125. Дубиков Г.И. Состав и криогенное строение мерзлых толщ Западной Сибири / Г.И. Дубиков. - М.: ГЕОС, 2002. - 246 с.

126. Дукарт, Ю.А. К вопросу о возрасте среднепалеозойских отложений Мархинской впадины / Ю.А. Дукарт, Г.В. Коробков // Геология и геофизика. - №2. - 1973. - С 15-20.

127. Егоров, К.Н. Контактные взаимоотношения кимберлитов разных фаз внедрения в сложнопостроенных трубках / К.Н. Егоров // Изв. АН СССР. Сер. геол. - 1985. - № 9. - С. 23–35.

128. Ершов, Э.Д. Геокриологические аспекты подземного захоронения средне- и низкорadioактивных отходов / Э.Д. Ершов, О.М. Лисицина, С.Ю. Пармузин // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. - 1995. - № 6.- С. 37-52.

129. Ершов, Э.Д. Криолитогенез / Э.Д. Ершов. - М.: Недра, 1982. - 212 с.
130. Ершов, Э.Д. Многолетнемерзлые породы как среда захоронения экологически опасных отходов / Э.Д. Ершов, С.Ю. Пармузин, О.М. Лисицина // Геоэкология. - 1997. - № 1. - С. 23-39.
131. Ершов, Э.Д. Общая геокриология: Учебник / Э.Д. Ершов. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. - 682 с.
132. Ершов, Э.Д. Проблемы захоронения радиоактивных отходов в криолитозоне / Э.Д. Ершов, С.Ю. Пармузин, О.М. Лисицина // Геоэкология. - 1995. - № 5. - С. 20-36.
133. Ершов, Э.Д. Прогноз процессов взаимодействия жидких техногенных рассолов, захороняемых в массиве мерзлых пород / Э.Д. Ершов, И.А. Комаров, Е.М. Чувиллин // Геоэкология. - 1997. - № 2. - С. 19-29.
134. Зайцев, И.К. Гидрогеохимия СССР / И.К. Зайцев. - Л.: Недра, 1986. - 239 с.
135. Зайцев, И.К. Основы структурно-гидрогеологического районирования СССР / И.К. Зайцев, Н.И. Толстихин // Материалы по региональной и поисковой гидрогеологии. - Л.: Тр. ВСЕГЕИ, 1963. - Нов. сер. - Т. 101. - С. 5-35.
136. Зелинская, Е.В. Теоретические аспекты использования гидроминерального сырья / Е.В. Зелинская, Ю.В. Воронина. - М.: Изд-во "Академия естествознания", 2009. - 118 с.
137. Иванов, Д. В. Геологическое строение и вещественный состав кимберлитового тела Январское (Далдыно-Алакитский алмазоносный район) / Д. В. Иванов, А. В. Толстов, В. В. Иванов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. - 2018. - № 5. - С. 39-43.
138. Калинин, В.И. Подготовка обводненных кимберлитовых трубок к подземной отработке / В.И. Калинин, В.Н. Власов, Н.П. Крамсков // Актуальные проблемы разработки кимберлитовых месторождений: современное состояние и перспективы решения. - М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2002. - С. 231-234.
139. Катасонов, Е.М. Закономерности развития криогенных явлений / Е.М. Катасонов // Актуальные вопросы советской географической науки. - М.: Наука, 1972. - С. 28-35.
140. Катасонов, Е.М. Исследования состава и криогенного строения многолетнемерзлых горных пород / Е.М. Катасонов // Полевые геокриологические (мерзлотные) исследования. - М.: Изд-во АН СССР, 1961. - С. 78-92.

141. Катасонов, Е.М. Типы мерзлых толщ и проблемы криолитологии / Е.М. Катасонов // Геокриологические и гидрогеологические исследования Сибири. - Якутск, 1972. - С. 5-16.
142. Кирюхин, В.А. Региональная гидрогеология / В.А. Кирюхин, Н.И. Толстихин. - М.: Недра, 1987. - 382 с.
143. Кирюхин, В.А. Региональная гидрогеология: Учебник для вузов / В.А. Кирюхин. - СПб.: Изд-во СПбГИ (ТУ), 2005. - 344 с.
144. Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. М.: Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых Министерства природных ресурсов Российской Федерации ГКЗ, 1997. 16 с.
145. Климентов, П.П. Методика гидрогеологических исследований / П.П. Климентов, В.М. Кононов. - М.: Высшая школа, 1978. - 408 с.
146. Климовский, И.В. Гидрогеокриологические условия полигона подземного захоронения дренажных вод трубки "Удачная" / И.В. Климовский, С.П. Готовцев, В.В. Шепелев // Криосфера Земли. - 2002. - Т. VI, № 3. - С. 45-50.
147. Климовский, И.В. Криолитозона Якутской алмазоносной провинции / И.В. Климовский, С.П. Готовцев. - Новосибирск: Наука, 1994. - 167 с.
148. Климовский, И.В. О природе аномалий температуры мерзлых толщ в Западной Якутии / И.В. Климовский, С.П. Готовцев // Региональные геокриологические исследования в Восточной Азии. - Якутск: Изд-во ИМЗ СО АН СССР, 1983. - С. 54-65.
149. Климовский, И.В. Об особенностях температурного режима ММП района кимберлитовой трубки Удачная / И.В. Климовский, З.Г. Устинова // Многолетнемерзлые породы и сопутствующие им явления на территории Якутской АССР. - М.: АН СССР, 1962. - С. 96-106.
150. Ковальский, В.В. Обзор представлений о закономерностях размещения проявлений кимберлитового магматизма / В.В. Ковальский, Ф.Ф. Брахфогель // Структурный контроль проявления кимберлитового магматизма на северо-востоке Сибирской платформы. - Новосибирск: Наука, 1974. - С. 5-11.
151. Колганов, В.Ф. Горно-геологические особенности коренных месторождений алмазов Якутии / В.Ф. Колганов, А.Н. Акишев, А.В. Дроздов. - Мирный, 2013. - 558 с.
152. Колганов, В.Ф. Коренные месторождения алмазов Западной Якутии. Справочное пособие / В.Ф. Колганов, А.Н. Акишев. - Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2011.- 215 с.
153. Колосов, П.Н. Стратиграфическая схема верхнего докембрия газоносного района Юго-Западной Якутии / П.Н. Колосов, В.И. Авдеева // Бюлл. НТИ. Якутск. - 1979. - С 3-7.

154. Колосов, П.Н. Стратиграфия верхнекембрийских и нижнекембрийских отложений Ботуобинского газоносного района Юго-Западной Якутии / П.Н. Колосов, В.И. Авдеева и др. // В кн. «Стратиграфия нефтегазоносных отложений Якутии». – Якутск, 1988. – С 3-35.

155. Кононов, А.М. Гидрогеохимические особенности криолитозоны Далдынского и Верхне-Мунского кимберлитовых полей / А.М. Кононов, С.В. Алексеев // Подземная гидросфера: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. – С. 69-73.

156. Кононова, Р.С. Криогенная метаморфизация подмерзлотных вод Восточно- Сибирской артезианской области / Р.С. Кононова // Советская геология. - 1974. - № 3. - С. 106-115.

157. Кононова, Р.С. Криогенные факторы формирования химического состава подземных вод и особенности гидрогеохимической зональности территории мерзлой зоны / Р.С. Кононова // Проблемы теоретической и региональной гидрогеохимии. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. - Кн. 1. - С. 119-123.

158. Кононова, Р.С. Криопэги - отрицательнотемпературные воды Земли / Р.С. Кононова, Я.В. Неизвестнов, Н.И. Толстихин, О.Н. Толстихин // Мерзлотные исследования. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971. - Вып. 11. - С. 75-88.

159. Косолапов, А.И. Геохимические исследования природных вод и газов Западной Якутии / А.И. Косолапов. - М.: Изд-во АН СССР, 1963. -207 с.

160. Косыгин, Ю.А. Основы тектоники / Ю.А. Косыгин. - М.: Недра, 1974. - 215 с.

161. Косыгин, Ю.А. Тектоника/ Ю.А. Косыгин. - М.: Недра, 1983. - 462 с.

162. Крайнов, С.Р. Гидрохимия: Учебное пособие / С.Р. Крайнов, В.М. Швец. – М.: Недра, 1992. – 463 с.

163. Крайча, Я. Газы в подземных водах / Я. Крайча. - М.: Недра, 1990. - С.23-42.

164. Крицук, Л.Н. Подземные льды Западной Сибири / Л.Н. Крицук. - М.: Научный мир. 2010. - 352 с.

165. Кудрявцев, В.А. Взаимодействие подземных вод с многолетнемерзлыми породами / В.А. Кудрявцев, Н.Н. Романовский, А.Б. Чижов // Гидрогеология и инженерная геология. - М.: Наука, 1972. - С. 57-63.

166. Кузьмин, Г.П. Подземные сооружения в криолитозоне / Г.П. Кузьмин. - Новосибирск: Наука, 2002. - 176 с.

167. Легостаева, Я.Б. Гидрогеологические условия и геоэкологическая ситуация на территории подземных техногенных хранилищ при утилизации дренажных рассолов Удачинского горнообогатительного комбината / Я.Б.

Легостаева, В.Ф. Попов, М.И. Ксенофонтова // Отечественная геология. - 2018. - № 5. - С. 93-102.

168. Лобанов, В.В. Изменение гидрогеологических условий на одном из месторождений алмазов в процессе водопонижения / В.В. Лобанов, А.В. Дроздов, А.Т. Солопанов // XII Всес. совещ. по подз. водам Востока СССР: Тез. докл. - Иркутск - Южно-Сахалинск, 1988. - С. 129-130.

169. Лобанов, В.В. Прогнозирование геологических структур для захоронения агрессивных рассолов в многолетнемерзлых породах / В.В. Лобанов, А.В. Дроздов, Ю.Д. Молчанов // Горный журнал. - 1995. - № 10. - С. 21-24.

170. Ломтадзе, В.Д. Словарь по инженерной геологии / В.Д. Ломтадзе. - СПб: Изд-во СПб горн. ин-та, 1999. - 360 с.

171. Медведев, М.Л. Научно-методические вопросы определения границ карьера при поэтапной разработке крутопадающих месторождений / М.Л. Медведев, В.Г. Васильев, Ю.И. Колдырев, А.Н. Акишев // ГИАБ. - 2004. - № 10. - С. 189-197.

172. Мельников, В.П. Криогенные образования в литосфере Земли (изобразительная версия) / В.П. Мельников, В.И. Спесивцев. - Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, 2000. - 343 с.

173. Мельников, Н.В. Палеогеография Сибирской платформы в раннем кембрии / Н.В. Мельников, В.А. Асташкин, Л.И. Килина Б.Б., Шишкин // Палеогеография фанерозоя Сибири. - Новосибирск: СНИИГиМС, 1989. - С. 10-17.

174. Мельников, П.И. Криосфера как водообменная система / П.И. Мельников, Г.В. Воропаев, А.А. Шарбатьян // Доклады АН СССР. - 1984. - Т. 279, № 3. - С. 587-590.

175. Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири / О. Н. Толстихин, В. В. Шепелев, Н. М. Никитина и др. ; отв. ред. П. И. Мельников. - Новосибирск : Наука : Сибирское отд-ние, 1984. - 191 с.

176. Методика мерзлотной съемки : Учеб. пособие для геол. спец. вузов / В.А. Кудрявцев, Л.С. Гарагуля, К.А. Кондратьева и др. ; Под ред. В.А. Кудрявцева. - Москва : Изд-во МГУ, 1979. - 358 с.

177. Методы битуминологических исследований: Задачи исследований и пути их разраб. : Метод. пособие / Под ред. В. А. Успенского. - Ленинград : Недра. Ленингр. отд-ние, 1975. - 319 с

178. Милашев, В.А. Кимберлитовые провинции / В.А. Милашев. - Л.: Недра, 1974. - 238 с.

179. Милашев, В.А. Структуры кимберлитовых полей / В.А. Милашев. - Л.: Недра, 1979. - 183 с.

180. Мингазов, Д.Т. Первые находки палеозойских кимберлитов в центральной части Анабарского щита / Д.Т. Мингазов, Л.Е. Голота, В.А. Истомин // Доклады РАН. - 1996. - Т. 347, № 1. - С. 72-76.
181. Минерагения платформенного магматизма (траппы, карбонатиты, кимберлиты) / С.В. Белов, А.В. Лапин, А.В. Толстов, А.А. Фролов. - М.: ИМГРЭ, 2008. - 537 с.
182. Минорин, В.Е. Оценка и разведка коренных месторождений алмазов / В.Е. Минорин. - М.: ЦНИГРИ, 2000. - 196 с.
183. Мироненко, В.А. Опыт захоронения дренажных рассолов в многолетнемерзлых породах при разработке месторождения трубки Удачная / В.А. Мироненко, Ф.Г. Атрощенко, В.В. Лобанов и др // Горный журнал. - 1995. - № 10. - С. 25-27.
184. Михайлов, М.В. Стратиграфия верхнего кембрия, ордовика, силура бассейна среднего течения р. Вилюй / М.В. Михайлов, Ю.И. Тесаков // Геология и геофизика. - 1972. - №1, Том 13. - С. 32-42.
185. Молчанов, Ю.Д. Составление физико-геологической модели участков захоронения дренажных вод карьера трубки Удачная (1992-93) / Ю.Д. Молчанов, С.М. Халитова, С.П. Готовцев. - Якутск, 1993. - 70 с.
186. Овчинников, А.М. Общая гидрогеология / А.М. Овчинников. - М.: Госгеолтехиздат, 1955. - 383 с.
187. Оловин, Б.А. Фильтрационная проницаемость вечноммерзлых грунтов / Б.А. Оловин. - Новосибирск: Наука, 1993. - 257 с.
188. Основные типы гидрогеологических структур СССР / Под ред. И.К. Зайцева. Тр. ВСЕГЕИ. - Новая серия. - 1974. - Т. 229. - 92 с.
189. Основы геокриологии (мерзловедения). Часть I. Общая геокриология / Под ред. П.Ф. Швецова. - М.: Изд-во АН СССР, 1959. - 460 с.
190. Основы геокриологии. Часть 1. Физико-химические основы геокриологии. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. - 368 с.
191. Основы геокриологии. Часть 2. Литогенетическая геокриология. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. - 397 с.
192. Основы геокриологии. Часть 3. Региональная и историческая геокриология Мира. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. - 575 с.
193. Основы геокриологии. Часть 4. Динамическая геокриология. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. - 688 с.
194. Основы геокриологии. Часть 5. Инженерная геокриология. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1999. - 526 с.
195. Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика. - Новосибирск: Наука, 1983. - 241 с.

196. Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия. – Новосибирск: Наука, 1982. – 286 с.
197. Основы гидрогеологии. Использование и охрана подземных вод. – Новосибирск: Наука, 1983. – 231 с.
198. Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология. – Новосибирск: Наука, 1980. – 225 с.
199. Павлов, В.А. Эколого-гидрогеологические проблемы отработки месторождения трубки «Удачная» / В.А. Павлов, А.Т. Солопанов, В.И. Уральский // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XIV совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 1994. – С. 63.
200. Петров, Ю.А. Опыт открытой разработки кимберлитовой трубки «Удачная» / Ю.А. Петров, В.Я. Калашников, Г.П. Шмаров // Актуальные проблемы разработки кимберлитовых месторождений: современное состояние и перспективы решения. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2002. – С. 13–24.
201. Пиннекер, Е.В. Взаимодействие криолитосферы и подземных вод глубоких горизонтов артезианских бассейнов / Е.В. Пиннекер // II Междунар. конф. по мерзлотоведению. Доклады и сообщения. – Якутск, 1973. – Вып. 5. – С. 106–110.
202. Пиннекер, Е.В. Гидрогеология – наука о подземной гидросфере / Е.В. Пиннекер // Водные ресурсы. – 1975. – № 4. – С. 130–133.
203. Пиннекер, Е.В. Гидрогеология и гидрогеохимия центральной части Якутской алмазонасной провинции / Е.В. Пиннекер, С.В. Алексеев, Л.П. Алексеева // Проблемы региональной гидрогеологии (VII Толстихинские чтения, 11–12 ноября 1998 г.). – Санкт-Петербург, 1998. – С. 32–36.
204. Пиннекер, Е.В. Значение изотопных определений при изучении месторождений подземных вод / Е.В. Пиннекер // Месторождения подземных вод Иркутской области. – Л.: Недра, 1974. – С. 14–31.
205. Пиннекер, Е.В. Изотопы стронция в рассолах Сибирской платформы / Е.В. Пиннекер, С.Л. Шварцев // Доклады РАН. – 1996. – Т. 351, № 1. – С. 109–111.
206. Пиннекер, Е.В. Некоторые замечания о терминологии / Е.В. Пиннекер // II Междунар. конф. по мерзлотоведению. Доклады и сообщения. Вып. 8. – Якутск, 1973а. – С. 270–271.
207. Пиннекер, Е.В. Новые данные об изотопном составе кислорода и водорода рассолов Сибирской платформы / Е.В. Пиннекер, В.Н. Борисов, Ю.И. Кустов и др. // Водные ресурсы. – 1987. – № 3 – С. 105–115.

208. Пиннекер, Е.В. Особенности взаимодействия подземных вод и многолетнемерзлых пород / Е.В. Пиннекер, Б.И. Писарский // Региональная гидрогеология и инженерная геология Восточной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1978. – С. 21–27.
209. Пиннекер, Е.В. Подземная гидросфера / Е.В. Пиннекер. - Новосибирск: Наука, 1984. – 159 с.
210. Пиннекер, Е.В. Подземные воды мерзлой зоны литосферы в условиях интенсивной техногенной нагрузки / Е.В. Пиннекер, С.В. Алексеев // Современные проблемы гидрогеологии (V Толстихинские чтения, 11-13 ноября 1996 г.).- Санкт-Петербург, 1996. – С. 44–46.
211. Пиннекер, Е.В. Проблемы региональной гидрогеологии. (Закономерности распространения и формирования подземных вод) / Е.В. Пиннекер. - М.: Наука, 1977. - 196 с.
212. Пиннекер, Е.В. Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна / Е.В. Пиннекер. – М.: Наука, 1966. – 332 с.
213. Пиннекер, Е.В. Экологические проблемы гидрогеологии / Е.В. Пиннекер. Новосибирск: Наука, 1999. – 128 с.
214. Плотников, Н.И. Техногенные изменения гидрогеологических условий / Н.И. Плотников. – М.: Недра, 1989. – 270 с.
215. Порохняк, А.М. Захоронение жидких отходов в криолитозоне / А.М. Порохняк, А.В. Рассудов. – М.: Недра, 1993. – 112 с.
216. Посохов, Е.В. Минеральные воды (лечебные, промышленные, энергетические) / Е.В. Посохов, Н.И. Толстихин. – Л.: Недра, 1977. – 240 с.
217. Потехина, И. А. Разломно-блоковое строение и кимберлитовые тела Алакит–Мархинского алмазоносного поля : тектонофизический анализ : диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук : 25.00.03 / Потехина Инна Александровна; [Место защиты: Ин-т земной коры СО РАН]. – Иркутск, 2010. – 163 с.
218. Промышленные рассолы Сибирской платформы: гидрогеология, бурение и добыча, переработка, утилизация / С.В. Алексеев, А.Г. Вахромеев, Н.П. Коцупало, А.Д. Рябцев– Иркутск: Изд-во «Географ», 2014. – 162 с.
219. Розен, О.М. Якутская кимберлитовая провинция: положение в структуре Сибирского кратона, особенности состава верхней и нижней коры / О.М. Розен, В.П. Серенко, З.В. Специус и др. // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43, № 1. – С. 3–26.
220. Романовский, Н.Н. Некоторые особенности мерзлотно-гидрогеологического строения артезианских бассейнов открытого типа в области многолетней мерзлоты / Н.Н. Романовский // Мерзлотные исследования. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. – Вып. VIII. – С. 89–111.

221. Романовский, Н.Н. Особенности изучения подземных вод области развития многолетнемерзлых пород мерзлоты / Н.Н. Романовский // Методика комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. – С. 175–218.

222. Романовский, Н.Н. Подземные воды криолитозоны / Н.Н. Романовский – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. – 232 с.

223. Романовский, Н.Н. Схема подразделения подземных вод области распространения многолетнемерзлых горных пород / Н.Н. Романовский // Методика гидрогеологических исследований и ресурсы подземных вод Сибири и Дальнего Востока. - М.: Наука, 1966. - С. 28–41.

224. Руководство по анализу битумов и рассеянного органического вещества горных пород (для лабораторий геологоразведочных организаций). / А.И. Горская, К.Ф. Родионова, В.А. Успенский, А.И. Шишкова. - Недра, Ленинград, 1966. - 316 с.

225. Савельев, Б.А. Методы изучения мерзлых пород и льдов / Б.А. Савельев. – М.: Недра, 1985. – 222 с.

226. Сердюков, Л.И. О природе поглощающей способности многолетнемерзлых пород при захоронении в них дренажных рассолов / Л.И. Сердюков, Е.Л. Артемьева, Е.В. Строганова и др. // Горный журнал. – 1996. – № 7–8. – С. 5–12.

227. Солопанов, А.Т. Мерзлотно-гидрогеологические условия массива Томтор / А.Т. Солопанов, А.В. Толстов // Криолитозона и подземные воды Сибири: Подземные воды и наледи. – Якутск: ИМЗ СО РАН, 1996. – С. 87–94.

228. Степанов, В.М. Введение в структурную гидрогеологию. Учебное пособие / В.М. Степанов. - Иркутск: ИПИ, 1985. – 104 с.

229. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / Н.В. Мельников, М.С. Якшин, Б.Б. Шишкин и др. - Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2005. - 428 с.

230. Строение земной коры Анабарского щита / О.М. Розен, А.Н. Вишневский, М.З. Глуховский и др. – М.: Наука, 1986. – 198 с.

231. Термо- и геомеханика алмазных месторождений / А.А. Козеев, В.Ю. Изаксон, Н.К. Звонарев. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995. - 245 с.

232. Толстихин, Н.И. Гидрогеология Земли и криосфера / Н.И. Толстихин // Подземные воды Сибири и Дальнего Востока. – М.: Наука, 1971. – С. 28–33.

233. Толстихин, Н.И. Гидрогеология области многолетнемерзлых пород СССР / Н.И. Толстихин, Н.А. Вельмина, А.И. Ефимов // Докл. на межд. конф. по мерзлотовед. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 158–166.

234. Толстихин, Н.И. Криогенез и водоносность гидрогеологических структур / Н.И. Толстихин, О.Н. Толстихин // Очерки по гидрогеологии Сибири. – Новосибирск: Наука, 1973. – Вып. VI. – С. 21–29.
235. Толстихин, Н.И. Криосфера и криопэги / Н.И. Толстихин // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. – 1982. – № 3. – С. 115–117.
236. Толстихин, Н.И. Подземные воды мерзлой зоны СССР / Н.И. Толстихин, О.Н. Толстихин // II Межд. конф. по мерзлотовед.: Доклады и выступления. – Якутск, 1975. – Вып. 8. – С. 73–87.
237. Толстихин, Н.И. Подземные и поверхностные воды территории распространения мерзлой зоны / Н.И. Толстихин, О.Н. Толстихин // Общее мерзлотоведение. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 192–229.
238. Толстихин, Н.И. Принципы структурно-гидрогеологического районирования территории Сибири / Н.И. Толстихин // Региональная гидрогеология Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск, 1962. – С. 2–9.
239. Толстихин, Н.И. Якутский артезианский бассейн / Н.И. Толстихин, В.М. Максимов // Зап. Ленинградск. горного ин-та. – 1955. – Т. 31. – Вып.2. – С. 18–24.
240. Толстихин, О.Н. Об одном своеобразном типе артезианских бассейнов зоны многолетнемерзлых пород / О.Н. Толстихин // Доклады АН СССР. – 1965. – Т. 163, № 6. – С. 1463–1466.
241. Тулисова, К.Ю. Моделирование процесса растворения грунтов основания дамбы гидротехнического сооружения атмосферными водами / К.Ю. Тулисова, Т.А. Кулешова, А.М. Янников, Н.В. Юркевич // Интерэкспо Гео–Сибирь. – Новосибирск, 2021. - С. 10–15.
242. Управление запасами и качеством алмазородного сырья / А.Н. Акишев, И.Ф. Бондаренко, П.В. Васильев, С.С. Мининг. - Новосибирск: Издательство СО РАН, 2012. – 382 с.
243. Устинова, З.Г. К гидрохимии кимберлитов трубок Якутии / З.Г. Устинова // Вопросы геохимии подземных вод. – М.: Недра, 1964. – С. 237–252.
244. Федоров, А.М. Лабораторные исследования разрушения льда и ледопородных монолитов рассолами / А.М. Федоров // Условия и процессы криогенной миграции вещества. – Якутск, 1989. – С. 83–96.
245. Филин, В.А. Гидрогеологические условия утилизации слабосоленых вод на алмазных месторождениях Якутии (на примере трубки «Удачная») / В.А. Филин, Ф.Г. Атрощенко // 7 Сергеевские чтения. Инженерно–геологические и геоэкологические проблемы утилизации и захоронения отходов. Вып. 7. – М.: ГЕОС, 2005. – С. 205–209.
246. Фотиев, С.М. Гидрогеотермические особенности криогенной области СССР / С.М. Фотиев. - М.: Наука, 1978. - 236 с.

247. Фотиев, С.М. Роль химического состава и минерализации подземных вод в процессе промерзания водоносных комплексов Сибирской платформы / С.М. Фотиев // Тр. ПНИИИС. – 1971. – Вып. 11. – С. 55–62.

248. Фотиев, С.М. Схема гидрогеокриологического районирования территории СССР / С.М. Фотиев // Изв. ВУЗов. Геология и разведка, 1990. – № 9. – С. 76–85.

249. Фукс, А.Б. Причины различных пластовых давлений в газоконденсатных залежах Непского свода / А.Б. Фукс, Б.А. Фукс // Геология нефти и газа. - 1976. - № 10. - С. 48–54.

250. Хархордин, И.Л. Моделирование процессов тепло- и массопереноса при закачке соленых вод и рассолов в многолетнемерзлые породы / И.Л. Хархордин, Ф.Г. Атрощенко // Проблемы поисковой и экологической геохимии. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – С. 281–284.

251. Харьков, А.Д. История алмаза / А.Д. Харьков, Н.Н. Зинчук, В.М. Зуев. - М.: Недра, 1997. - 601 с.

252. Харьков, А.Д. Коренные месторождения алмазов мира / А.Д. Харьков, Н.Н. Зинчук, А.И. Крючков. - М.: Недра, 1998. - 555 с.

253. Черкасов, Р.В. Охрана водных ресурсов при осушении алмазных месторождений / Р.В. Черкасов, Л.Д. Синкевич // Горный журнал. – 1995. – № 3. – С. 58–59.

254. Чижов, А.Б. Изменение геологической среды криолитозоны при хозяйственном освоении / А.Б. Чижов, Ю.В. Ванько, А.Ю. Деревягин // Инженерная геология. – 1990. – № 5. – С. 76–82.

255. Шваров, Ю.В. Алгоритмизация метода численного равновесного моделирования динамических геохимических процессов / Ю.В. Шваров // Геохимия. – 1999. - № 6. - С.646–652.

256. Шварцев, С.Л. Геологическая система вода–порода / С.Л. Шварцев // Вестник РАН. – 1997. – № 6. – С. 518–524.

257. Шварцев, С.Л. Источники кальция, стронция и бария крепких и сверх крепких рассолов хлоридно–кальциевого типа / С.Л. Шварцев // Геология и геофизика. – 1973. – № 6. – С. 23–30.

258. Шварцев, С.Л. К проблеме самоорганизации геологической системы вода-порода / С.Л. Шварцев // Геология и геофизика. – 1995. – № 4. – С. 22–29.

259. Шварцев, С.Л. О роли горных пород в формировании крепких рассолов хлоридно-кальциевого типа / С.Л. Шварцев, М.Б. Букаты // Доклады РАН. – 1995. – Т. 342, № 4. – С. 530–533.

260. Шварцев, С.Л. Общая гидрогеология. Учебник для ВУЗов / С.Л. Шварцев. – М.: Недра, 1996. – 423 с.

261. Шварцев, С.Л. Особенности формирования микрокомпонентного состава подземных вод зоны криогенеза (на примере западной части Сибирской платформы) / С.Л. Шварцев, Н.Г. Шубенин // Геология и геофизика. – 1973. – № 11. – С. 69–74.
262. Шварцев, С.Л. Фундаментальные механизмы взаимодействия в системе вода-горная порода и ее внутренняя геологическая эволюция / С.Л. Шварцев // Литосфера. – 2008. – № 6. – С. 3–24.
263. Шепелев, В.В. Взаимосвязь битумо- и газонасыщенности осадочной толщи пород Далдыно-Алаakitского района / В.В. Шепелев, В.И. Краевский, В.И. Федоров // Геол. методы поисков и разведки м-ний нефти и газа. Экспресс-информация. М.: ВИЭМС. 1984. - Вып. 6. С. 15–25.
264. Шепелев, В.В. Геокриологические условия формирования и классификация надмерзлотных вод / В.В. Шепелев // Формирование подземных вод криолитозоны. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 1992. – С. 3–14.
265. Шепелев, В.В. К понятию о криолитосфере Земли / В.В. Шепелев. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 1997. – 72 с.
266. Шепелев, В.В. Классификация подземных вод криолитозоны / В.В. Шепелев // Тезисы докладов Всесоюзного совещания по подземным водам Востока СССР (X Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока). Часть I. – Иркутск, 1982. – С. 16–17.
267. Шепелев, В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны / В.В. Шепелев. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2011. – 169 с.
268. Шепелев, В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны, их подразделение и характеристика / В.В. Шепелев // Проблемы геокриологии. – М.: Наука, 1983. – С. 239–244.
269. Шепелев, В.В. Надмерзлотные воды. Особенности формирования и распространения: Учебное пособие / В.В. Шепелев. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 1995. – 48 с.
270. Экологическая гидрогеология: Учебник для ВУЗов / А.П. Белоусова, И.К. Гавич, А.Б. Лисенков и др. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. - 397 с.
271. Якупов, В.С. Мощность мерзлой толщи на Анабарском кристаллическом массиве (по данным ВЭЗ) / В.С. Якупов, А.А. Алиев, О.В. Демченко и др. // Геофизические методы исследования мерзлых толщ. – Якутск: Якутское книжное издательство, 1976. – С. 12–21.
272. Янников, А.М. Вертикальная гидрогеологическая зональность в пределах Далдынского кимберлитового поля / А.М. Янников // Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции Геология и минерально-сырьевые ресурсы СВ России 2023 г. Якутск. 2023. - С. 481- 485.

273. Янников, А.М. Гидрогеология Алакит-Мархинского кимберлитового поля / А.М. Янников. - Мирный: Изд-во ЗЯНЦ/ЯНА, 2022б. - 132 с.

274. Янников, А.М. Гидрогеология Мирнинского кимберлитового поля. / А.М. Янников. - Мирный: Изд-во ЗЯНЦ/ЯНА, 2021а. - 240 с.

275. Янников, А.М. Гидродинамическая характеристика удачинской свиты в околотрубочном массиве трубки «Удачная» (РС (Якутия)). / А.М. Янников // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXIX Всероссийской молодежной конференции. – Иркутск, 2021б. - С. 302-304.

276. Янников, А.М. Глубинные разломы – определяющий фактор формирования гидрогеологических условий коренных месторождений алмазов / А.М. Янников, С.А. Янникова, И.В. Зырянов // Наука и техника в Якутии. 2021. - №1. - С. 14-17.

277. Янников, А.М. Дегазационное бурение как эффективный способ разгрузки карбонатных коллекторов вмещающих толщ коренных месторождений алмазов / А.М. Янников, А.В. Харченко // Безопасность Труда в Промышленности -. 2021. - №6. - С. 89-94.

278. Янников, А.М. Динамика и прогноз изменения гидродинамического режима нижнекембрийского водоносного комплекса в пределах Далдынской флексуры / А.М. Янников, И.В. Зырянов, А.Ю. Корепанов, А.С. Стручкова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2022. - № 9. - С. 60–73.

279. Янников, А.М. Использование ММП для закачки дренажных вод коренных месторождений алмазов на примере участка «Ноябрьский» / А.М. Янников, С.А. Янникова М.Ю. Овчинникова, А.Ю. Корепанов // Вестник Пермского государственного университета. – 2021а. - №3. - С. 284-299.

280. Янников, А.М. Использование природно-техногенных несквозных таликов в качестве резервных источников водоснабжения (на примере участка долины реки Сытыкан, республика Саха (Якутия)) / А.М. Янников, Н.М. Брычаев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. -2022. –№4. –С. 118–126.

281. Янников, А.М. Криогидрогеологические условия как ключевой фактор при проектировании систем водоотведения на примере кимберлитовых трубок Западной Якутии / А.М. Янников, И.В. Зырянов, А.Ю. Корепанов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2023. - № 5. - С. 112- 129.

282. Янников, А.М. Перспективы использования глубокозалегающих водоносных горизонтов для закачки слабоминерализованных вод флексуры / А.М. Янников, И.В. Зырянов, С.А. Янникова, А.Ю. Корепанов // Горная промышленность. - 2022а. - №1. - С. 76-81.

283. Янников, А.М. Проблемы и перспективы развития гидрогеологической службы АК «АЛРОСА» ПАО / А.М. Янников, А.Ю. Корепанов, И.В. Зырянов // Горный журнал. - 2021. - №5. - С. 30-34.

284. Янников, А.М. Типы пластовых газов и форма их нахождения во вмещающих породах в пределах зон динамического воздействия ультраосновного магматизма (на примере Далдыно-Алакитского кимберлитового района) / А.М. Янников // Материалы 5-й Конференции международной школы академика РАН К.Н. Трубецкого Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Москва. 2022в. - С. 288-290.

285. Alexeev, S.V. Brines of the Siberian platform (Russia): geochemistry and processing prospects / S.V. Alexeev, L.P. Alexeeva, A.G. Vakhromeev // Applied Geochemistry. - 2020. - V. 117. - 104588.

286. Alexeev, S.V. Environmental effects of developing the diamond deposits of Western Yakutia / S.V. Alexeev // Proc. Intern. Symp. on Engineering Geology and Environment. – Athens–Greece: Rotterdam. Balkema, 1997a. – Pp. 2303–2307.

287. Borisov, V.N. Brines – perennially frozen ground. Problems of interaction / V.N. Borisov, S.V. Alexeev // Proc. 7th Int. Conf. on Permafrost. (Extended Abstracts). – Yellowknife. Canada. – 1998. – Pp. 117–118.

288. Borisov, V.N. Permafrost as a matter for burial of highly concentrated industrial waste / V.N. Borisov, S.V. Alexeev // Proc. 7th Int. Congress Int. Assoc. of Eng. Geology. – Lisboa–Portugal: Rotterdam. Balkema, 1994. – Pp. 2385–2391.

289. Borisov, V.N. The peculiarities and factors of brine (cryopeg)–permafrost interaction / V.N. Borisov, S.V. Alexeev // Proc. 8th Int. IAEG Congress. – Vancouver – Canada. – 2000. – Pp. 3907–3911.

290. Chen, M. An efficient surrogate–based simulation–optimization method for calibrating a regional MODFLOW model / M. Chen, A. Izady, O.A. Abdalla // Journal of Hydrology. - 2017. - V. 544. - Pp. 591–603.

291. Diersch, H.–J. G. FEFLOW – Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media / H.–J. Diersch. - Springer, 2014, Berlin Heidelberg, XXXV. - 996 p.

292. Pinneker, E.V. Grundwasserschutz in Permafrostgebieten / E.V. Pinneker, S.V. Alekseew // Grundwasser. – Springer–Verlag, 2000. – 4 (5). – Pp. 159–169.

293. Pinneker, E.V. Hydrogeology and Hydrogeochemistry of permafrost zone of Daldyn-Alakit region (Western Yakutia) / E.V. Pinneker, S.V. Alexeev, L.P. Alexeeva // 30 Arctic Workshop – Colorado – USA, 2000 – Pp. 134–136.

294. Pinneker, E.V. The groundwaters of the permafrost zone under the conditions of man-made load / E.V. Pinneker, S.V. Alexeev // Proc. Fifth Int. Symp.

on Cold Region Development. – Anchorage–Alaska: Hanover, NH 03755–1290. – 1997. – Pp. 353–355.

295. Pinneker, E.V. The interaction of brines and permafrost / E.V. Pinneker, S.V. Alexeev, V.N. Borisov // Proc.WRI–6 Int. Symp. – Malvern–England: Rotterdam. Balkema, 1989. – Pp. 557–560.

296. Alexeev ,S.V. The cryogenesis of groundwaters of the Daldyn-Alakit region (Western Yakutia) / S.V. Alexeev // Proc. Fifth Int. Symp. on Cold Region Development. – Anchorage-Alaska: Hanover, NH 03755–1290. – 1997b. – Pp. 369–372.

297. Alexeev, S.V. Cryopegs in the Yakutian diamond-bearing province (Russia) / S.V. Alexeev, L.P. Alexeeva, A.M. Kononov // Groundwater quality sustainability. Ed. P.Maloszewski, S. Witczak & G. Malina. CRC Press/ Balkema. 2012. - Pp 101–107.

298. Alexeev, S.V. Dynamics of drainage water composition during development of diamond mining quarries (Western Yakutia, Russia) / S.V. Alexeev, L.P. Alexeeva // 30 Arctic Workshop –Colorado – USA, 2000 – pp. 2–5.

299. Alexeev, S.V. Geochemical and isotope features of brines of the Siberian platform / S.V. Alexeev, L.P. Alexeeva, O. Shouakar-Stash et al. // Proc. WRI–11 Intern. Symposium (27 June–2 July 2004, Saratoga Springs, NY, USA). – Rotterdam. Balkema, 2004. – Pp. 333–336.

300. Alexeev, S.V. Ground ice in the sedimentary rocks and kimberlites of Yakutia, Russia / S.V. Alexeev, L.P. Alexeeva // Permafrost and Periglacial Processes. – John Wiley&Sons, Ltd. – 2002a. – 13. – Pp. 53–59.

301. Alexeev, S.V. Hydrogeochemistry of the permafrost zone in the central part of the Yakutian diamond-bearing province, Russia / S.V. Alexeev, L.P. Alexeeva // Hydrogeology Journal – Springer–Verlag. – 2003a. – 11(5). – Pp. 574–581.

302. Alexeev, S.V. Interaction between brines and perennially frozen ground system / S.V. Alexeev, V.N. Borisov // Proc. Intern. Symp. on Hydrogeology and the Environment – China Environmental Science Press – Beijing – China, 2000 – pp. 168–170.

303. Alexeev, S.V. Permafrost zone of Daldyn-Alakit region. The problems of evolution and development / S.V. Alexeev, L.P. Alexeeva // 28 Arctic Workshop. – Colorado. USA. – 1998. – Pp. 301–304.

304. Alexeev, S.V. Technogenic processes in the brine-permafrost system / S.V. Alexeev, V.N. Borisov //Hydrological Science and Technology. – 1995. – Vol. 11. – N 1–4. – Pp.169–173.

305. Alexeev, S.V. The burial of drainage waters of Udachnaya kimberlite pipe into permafrost / S.V. Alexeev, L.P. Alexeeva // Permafrost. Vol. 1. – Swets@Zeitlinger , Liss, Nederlands. – 2003b. –Pp. 1–4.

306. Alexeev, S.V. The first experience of saline drainage water disposal from Udachnaya pipe quarry into permafrost / S.V. Alexeev, A.V. Drozdov, T.I. Drozdova et al. // 32 Arctic Workshop (Colorado, USA), 2002 – Pp. 4–7.

307. Alexeev, S.V. The Peculiarities of Utilization of the Technogenic Waste into Permafrost / S.V. Alexeev, L.P. Alexeeva // Proc. of 11th Int. Conf. on Cold Regions Engineering (20–22 May, 2002). – Anchorage. – Alaska. – USA, 2002b. – Pp. 948–953.

Фондовая

308. Бельдий В.Ф. и др. Информационный отчет о выполненных гидрогеологических работах за 2017 год. В 2-х книгах 1 папке. Мирный, МГРЭ, 2018 г.

309. Бельдий В.Ф. и др. Информационный отчет о выполненных гидрогеологических работах за 2018 год. Мирный, МГРЭ, 2019.

310. Великин. С.А. Отчет о выполнении инженерно-геофизических изысканий. ВНИМС, г. Якутск, 2016.

311. Великин. С.А. Отчет о выполнении инженерно-геофизических изысканий. ВНИМС, г. Якутск, 2019.

312. Дроздов А.В. и др. Отчет о результатах специализированных гидрогеологических работ по детализации перспективных площадей для закачки дренажных рассолов карьера трубки Удачная (1982–1986 гг.). – Мирный, МГРЭ, 1986.

313. Дроздов А.В. и др. Предварительная оценка емкостных свойств многолетнемерзлых пород Октябрьского разлома в районе трубки Удачная (1986–1988 гг.) – Мирный, МГРЭ, 1988.

314. Дроздов А.В. и др. Отчет по оценке перспективности участков для захоронения дренажных вод тр. Удачная (1988–1991 гг.) – Мирный, МГРЭ, 1991.

315. Ильков А.Т. и др. Информационный отчет о выполненных гидрогеологических работах за 2009 год. Мирный, МГРЭ, 2010 г.

316. Ильков А.Т. и др. Информационный отчет о выполненных гидрогеологических работах за 2010 год. Мирный, МГРЭ, 2011 г.

317. Ильков А.Т. и др. Информационный отчет о выполненных гидрогеологических работах за 2011 год. Мирный, МГРЭ, 2012 г.

318. Ильков А.Т. и др. Информационный отчет о выполненных гидрогеологических работах за 2014 год. Мирный, МГРЭ, 2015 г.

319. Ильков А.Т. и др. Информационный отчет о выполненных гидрогеологических работах за 2015 год. Мирный, МГРЭ, 2016 г.

320. Ильин А.В. и др. Информационный отчет о выполненных гидрогеологических работах за 2016 год. В 2-х книгах 1 папке. Мирный, МГРЭ, 2017.

321. Иост Н.А. о результатах проведенных работ по геологическому изучению Далдынской флексуры с целью обратной закачки шахтных и

дренажных вод рудника «Удачный» (участок «Среднекембрийский») в 2016-2019 гг. – Мирный, 2020.

322. Лагунов И.К. Отчет о результатах проведенных работ по геологическому изучению и оценке пригодности участка недр «Нижнекембрийский юго-восточный» для строительства и эксплуатации системы обратной закачки дренажных вод рудника «Удачный». Виллюйская ГРЭ, Мирный, 2022.

323. Отчет о результатах проведенных работ по геологическому изучению и оценке пригодности участка недр для строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых (поиск и оценка структур для закачки дренажных вод рудника «Удачный» на участке «Левобережный-2») в 2018-2019гг. Виллюйская геологоразведочная экспедиция АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный, 2020.

324. Отчет по ИТУ «Рекомендации для проектирования системы мониторинга за наблюдением гидрогеомеханических процессов в период доработки открытым и отработки подземным способом запасов до отм. -380 м. трубки «Удачная». НТЦ «НОВОТЭК», 2010 г.

325. Отчет по ИТУ «Разработать рекомендации для проектирования системы мониторинга за наблюдением геомеханических процессов в период доработки открытым и отработки подземным способом запасов до отм. -380 м трубки «Удачная». ВНИМИ - НТЦ «НОВОТЭК», 2011.

326. Потуроев А. А., Голубева Т. В., Борисов Г. К., Авраменко В. И., Мосиенко Б. А. и др. Отчёт о результатах работ по теме «Структура кимберлитовых полей и тектонический контроль размещения кимберлитов Далдыно-Алакитского района» / Фонды АмГРЭ. Нюрба,.1974.

327. Потуроев А. А., Кружалова Е. Ф. и др. Отчёт о результатах работ по теме № 24 «Составление прогнозных карт для Далдыно-Алакитского района за 1975-1977 гг.» / Фонды АмГРЭ, 1977.

328. Устинов В. И. и др. Отчёт о результатах производственно-тематических работ по теме: Изучение структурно-тектонических и геохимических особенностей района коренных месторождений алмазов трубок Айхал и Удачная за 1980-82 гг. / Фонды АмГРЭ, 1984.

329. Янников А. М. Отчёт «Разработать гидродинамическую модель участка закачки «Левобережный-2»» Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2022а.

330. Янников А. М. Отчёт «Разработать комплексную гидродинамическую модель двух участков закачки «Среднекембрийский» и «Нижнекембрийский Юго-восточный». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2022в.

331. Янников А.М. Заключение о гидрогеологических условиях месторождений Верхне-Мунского кимберлитового поля. Мирный. Фонды Института «Якутнипроалмаз». 2021а..

332. Янников А.М. Заключение о гидрогеологических условиях трубки Зарница. Мирный. Фонды Института «Якутнипроалмаз». 2021.

333. Янников А.М. Информационный отчет: «О результатах бурения гидрогеологических и инженерно-геологических скважин на горизонте - 480 рудника «Удачный». Мирный. Фонды МГРЭ. 2018.

334. Янников А. М. Отчёт «Дополнение и актуализация постоянно действующей гидродинамической модели трубки «Удачная» с прогнозированием и управлением водопритоками». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2022д.

335. Янников А. М. Отчёт «Оценка реологических свойств и степени опасности рудопородной подушки подземного рудника «Удачный». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2021в

336. Янников А. М. Отчёт «Оценка фильтрации на гидроузле на р. Сытыкан, прогноз дальнейшего развития ситуации с фильтрационным и температурным режимом сооружения с разработкой мероприятий и заключением о безопасности ГТС». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2021г.

337. Янников А. М. Отчёт «Прогнозирование и управление водопритоками на месторождении трубки «Удачная» на основе постоянно действующей гидродинамической модели». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2021е.

338. Янников А. М. Отчёт о гидрогеологических условиях месторождения до отм.-820 м рудника «Удачный». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2020б.

339. Янников А. М. Отчёт о составе, количестве и характере выделения взрывоопасных газов до отм. -820 м абс. рудника «Удачный». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2020а.

340. Янников А. М. Отчёт по комплексному анализу результатов работ по закачке шахтных и дренажных вод рудника «Удачный» на Киенгском участке за период 2012-2020 гг с оценкой его остаточной емкости и рекомендациями его дальнейшей эксплуатации. Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2021д.

341. Янников А. М. Технический проект опытно-промышленной эксплуатации узла закачки шахтных и дренажных вод рудника «Удачный» на участке «Левобережный». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2020а.

342. Янников А. М. Технический проект опытно-промышленной эксплуатации узла закачки шахтных и дренажных вод рудника «Удачный» на участке «Среднекембрийский». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2022.

343. Янников А. М. Технический проект опытно-промышленной эксплуатации узла закачки шахтных и дренажных вод рудника «Удачный» на участке «Нижнекембрийский юго-восточный». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2022д.

344. Янников А. М. Технический проект опытно-промышленной эксплуатации узла закачки шахтных и дренажных вод рудника «Удачный» на участке «Левобережный-2». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2022б.

345. Янников А. М. Технический проект промышленной эксплуатации узла закачки шахтных и дренажных вод рудника «Удачный» на участке «Киенгский». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2021.

346. Янников А. М. и др. «Специальные мероприятия газового режима при ведении горных работ на подземном руднике «Удачный» в условиях газонефтепроявлений» (выпуск 6). Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2022в.

347. Янников А. М. Отчёт по комплексному анализу результатов работ по закачке шахтных и дренажных вод рудника «Удачный» на участке Левобережный за весь период эксплуатации с оценкой его остаточной емкости и рекомендациями его дальнейшей эксплуатации. Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2023.

348. Янников А. М. Технический проект промышленной эксплуатации узла закачки шахтных и дренажных вод рудника «Удачный» на участке «Левобережный». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2023

349. Янников А. М. Отчёт «Разработать постояннодействующую гидродинамическую модель участка закачки дренажных вод «Левобережный»». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2023.

350. Янников А. М. Отчёт «Анализ гидрогеологического и геомеханического мониторинга с выдачей итогового заключения о гидродинамических, гидрогеологических и геомеханических условиях при подземной отработке месторождения трубки «Удачная» в отм. -480 м/-780 м». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2023.

351. Янников А. М. Отчёт «Научно-методическое сопровождение бурения скважин на дамбе реки Сытыкан». Фонды Института «Якутнипроалмаз». Мирный, 2023.

Научное издание

Янников Алексей Михайлович

**ГИДРОГЕОЛОГИЯ
ДАЛДЫНСКОГО
КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ
РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)**

АК «АЛРОСА» (ПАО)

678175, РС (Я), г. Мирный, ул. Ленина, 6

<http://www.alrosa.ru>

ISBN 978-5-6041056-8-9



9 785604 105689