

УДК 622.58

РОЛЬ РАЗРЫВНЫХ ДИСЛОКАЦИЙ В ОБВОДНЕНИИ АЛМАЗОДОБЫВАЮЩИХ РУДНИКОВ ЯКУТИИ

А.В. Дроздов¹, А.И. Мельников²

¹Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА», 678170, Россия, г. Мирный, ул. Ленина, 39.

²Институт земной коры СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

Рассмотрены структурно-тектонические и криогидрогеологические условия крупнейших алмазоносных месторождений Якутии, глубокие горизонты которых осваиваются подземным способом. Определена главенствующая роль разрывных дислокаций в обводнении подземных горных выработок газонасыщенными дренажными рассолами.

Библиогр. 8 назв. Ил. 4.

Ключевые слова: кимберлитовые трубки; дренажные рассолы; тектонические структуры; подземные рудники; водопритоки.

RUPTURE DISLOCATION ROLE IN DIAMOND MINE WATER ENCROACHMENT IN YAKUTIA

A.V. Drozdov, A.I. Melnikov

Yakutnioproalmaz Institute, OJSC ALROSA, 39 Lenin St., Mirny, 678170, Russia.

Institute of the Earth Crust SB RAS, 128 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia.

The paper deals with structural-tectonic and cryohydrogeological conditions of the largest diamondiferous deposits of Yakutia, deep levels of which are mined by the underground method. Predominant role of rupture dislocations in underground opening encroachment with gas-saturated drainage brines is identified.

8 sources. 4 figures.

Key words: kimberlite pipes; drainage brines; tectonic structures; underground mines; inflows.

Современный этап и дальнейшие перспективы алмазодобычи для АК «АЛРОСА» характеризуются значительным усложнением горно-геологических и горнотехнических условий освоения коренных месторождений Якутии, при этом происходит планомерный переход от открытого способа разработки богатых кимберлитовых трубок к открыто-подземным, а затем подземным геотехнологиям. Подземный способ добычи на крупнейших рудниках («Интернациональный», «Удачный», «Мир», «Айхал») сопровождается возникновением сопутствующих эксплуатационных проблем промбезопасности, зависящих, главным

образом, от особенностей геологического строения и структурно-тектонической обстановки прилегающей территории. Основные проблемы добычных работ на глубоких горизонтах связаны с неравномерной обводненностью подрабатываемых горных массивов газонасыщенными рассолами разного состава, высокой нефтегазонасыщенностью кимберлитовых трубок и прилегающих блоков осадочных пород к рудным телам, наличием галогенных отложений и т.д.

Общие представления о геологическом строении, структуре и генезисе коренных алмазных месторождений Якутии, данные о фильтрационных по-

¹Дроздов Александр Викторович, кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией горно-геологических проблем разработки месторождений, тел.: (41136) 92038, e-mail: DrozdovAV@alrosa.ru

Drozdov Alexander, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Head of the Laboratory of Mining and Geological Problems of Deposit Development, tel.: (41136) 92038, e-mail: DrozdovAV@alrosa.ru

²Мельников Александр Иванович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, тел.: (3952) 428273, e-mail: mel@crust.irk.ru

Melnikov Alexander, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Leading Researcher, tel.: (3952) 428273, e-mail: mel@crust.irk.ru

казателях вмещающих пород и кимберлитов говорят о том, что «трубки взрыва» и нарушенные разрывными дислокациями прилегающие блоки осадочного чехла могут являться своеобразными «гидравлическими окнами» в подземной гидросфере. Так, при вскрытии кимберлитоконтролирующей тектонической зоны в карьере трубки «Удачная» фиксируемые водопритоки с северо-восточного борта на горизонте +5 м достигали 60–70% всего подземного стока, что свидетельствует о прямой связи между нижераспространенным наиболее водообильным среднекембрийским водоносным комплексом и открытой горной выработкой [3]. Через зону тектонических нарушений рассолы нижерасположенного комплекса мигрировали в отрабатываемое пространство карьерного поля из сопряженных областей, обладающих высокими фильтрационно-емкостными показателями. Поэтому требуется обязательный учет этого важного структурно-тектонического фактора при обработке глубоких горизонтов месторождения и прогнозе газо- и водопритоков в подземные горные выработки.

К настоящему времени считается доказанным, что в той или иной форме существует пространственная связь между глубинными разломами и проявлениями кимберлитового магматизма. В.А. Милашев [7] показал, что ведущим фактором в размещении кимберлитовых полей является степень нарушенности монолитности пород фундамента, которая может служить показателем проницаемости земной коры для кимберлитовых магм. Наиболее благоприятными для внедрения кимберлитов являлись участки пересечения и оперения глубинных разломов, то есть разломные узлы. В частности, авторы [8] отмечают приуроченность кимберлитов к площадям, где формируются пересечения разновозрастных и разнотипных глубинных разломов, образующих сложные сочетания.

Известно [1], что формирование разломной зоны в осадочных толщах редко доходит до заключительной стадии, знаменующейся появлением магистрального сместителя, и что слоистость значительно влияет на ширину зоны разлома. Вследствие этого, даже при наличии единого сместителя в фундаменте разлом в платформенном чехле, как правило, представляет собой широкую зону развития закономерно ориентированных локальных разрывных нарушений и трещиноватости. При этом в процесс деформации вовлекаются и горизонтальные ослабленные поверхности – границы слоев различных пород, вдоль которых развиваются межслоевые срывы и зоны хрупко-пластического течения вещества. Взаимодействие крутопадающих и послойных разрывных нарушений приводит к формированию и перемещению плитообразных блоков, существенному расширению границ разломной зоны особенно, вблизи земной поверхности. Широкий набор данных (геологических, петрографо-минера-логических и др.) свидетельствует о том, что процесс образования кимберлитовмещающей структуры был весьма длительным [6, 8]. В любом случае, проявления кимберлитового и траппового магматизма на Сибирской платформе привели к кардинальному изменению целостности осадочных толщ чехла с формированием анизотропных фильтрационно-емкостных показателей прилегающих пород, а также формированием гидравлической связи между отдельными интервалами коллекторов в разрезе.

Вопрос о выделении обводненных разломов осадочного чехла и разнообразных магматических тел (кимберлитовые трубки, базитовые образования) на Сибирской платформе в самостоятельные криогидрогеологические структуры пока дискуссионен, хотя для этого уже имеется достаточно оснований. Дизъюнктивные деформации, пронизы

вающие толщи пород независимо от литологической и стратиграфической принадлежности, соединяют водонасыщенные пласты в единую гидравлическую систему и образуют высоководобильные тектонические структуры [3]. Но существует ряд неопределенностей, выраженных в характере раскрытости и проницаемости систем разрывных нарушений, как для подземных вод, так и для газов по вертикали и латерали. Кроме этого, вторичные гидротермальные процессы (кальцитизация, сульфатизация, гипсование и др.) наложили свой определенный отпечаток на сформированные ранее и существующие ныне зоны нарушений в рудных кимберлитовых телах, во вмещающих осадочных и интрузивных породах.

Трещинно-жильные воды крутопадающих разрывных дислокаций имеют относительно локальный характер распространения в массивах обводненных горных пород. Запасы подземных вод в трещинных зонах платформы имеют несравнимо меньшие показатели, чем у порово-пластовых коллекторов осадочных отложений. Однако крупные тектонические нарушения никогда не представляют собой единую трещину. Они, как правило, выражены разрывной зоной, ширина которой варьируется от первых сотен метров до нескольких километров. Эта закономерность, к примеру, в карьере трубки «Удачная» наблюдается в его юго-западном и северо-восточном бортах. Зона кимберлитовмещающего (рудоконтролирующего) разлома состоит из большого числа трещин, параллельных друг другу. Благодаря вариациям в интенсивности трещиноватости зона разделяется на ряд узких, линейных участков с различной степенью раздробленности отложений. В связи с неоднородностью состава и свойств пород разреза осадочного чехла ширина разрывной зоны, интенсивность тектонической трещиноватости и расстояние между самими трещинами постоянно изменяются внутри разломной системы.

При отработке алмазных месторождений в условиях обводнения или для выделения участков под захоронение промстоков коллекторы этих структур имеют важное прикладное значение. Обводненные разломы, в основном, являются наложенными структурами, обладают определенными для них особенностями (глубина, протяженность, степень раскрытия) и аномальными показателями (водобильность, химический и газовый составы подземных вод). Открытые тектонические нарушения осадочного чехла являются путями миграции флюидов с больших глубин и прилегающих пространств. Это наглядно проявляется в многочисленных спонтанных газопроявлениях разной степени интенсивности с различных глубин и чаще всего вблизи приконтактных зон рудных тел с вмещающими породами и (или) внутри трубок на контактах между разными типами кимберлитов. Высокая минерализация (до 500 г/дм³), хлоридный кальциевый или натриевый состав природных рассолов, их объемы создают проблемы не только для ведения подземных горных работ, влияя на производительность горнотранспортного оборудования и процесс обогащения, но и для последующего удаления дренажных и оборотных минерализованных вод.

Если рассматривать в целом влияние разрывных нарушений на степень обводнения и газонасыщения различных кимберлитовых трубок алмазоносного региона, то эта связь проявляется практически повсеместно. Так, вблизи трубки «Юбилейная» наиболее высокой водобильностью верхнекембрийского водоносного комплекса обладает зона рудовмещающего разлома, имеющего северо-восточное простирание и совмещенная с главной осью трубки (~72°). При опробовании скважин, пройденных в пределах этой структуры, дебит достигал 191 м³/сут с удельным дебитом 0,06 л/с, что на порядок выше, чем у водонасыщенных пород прилегающего к место-

рождению водоносного комплекса. Вышерасположенный нижнеордовикский межмерзлотный комплекс, приуроченный к породам олдондинской свиты, распространен в районе ограниченно и встречается только на северо-восточном фланге месторождения в зоне того же рудовмещающего разлома [3].

Трубка «Сытыканская» приурочена к глубинному разлому юго-западного простирания и имеет сильно вытянутую форму. Она состоит из двух самостоятельных тел, северо-восточного и юго-западного, с северо-восточным азимутом простирания длинной оси трубки (60°). С данным тектоническим образованием связаны высоководобильные зоны в подмерзлотных толщах чехла, имеющие узколокальное ограниченное распространение только вблизи месторождения.

Для трубки «Айхал» на уровне кристаллического фундамента рудовмещающей структурной зоной является одна из трещин скола северо-восточного простирания, оперяющая субмеридиональный глубинный разлом, ранее установленный по данным гравиметрической съемки. Выше, в толще осадочного чехла, сформировались три канала термодинамической проработки (диатремы), преобразованные в три расположенных цепочкой рудных столба. При проведении структурных исследований в карьере и подземных выработках установлено, что трубка «Айхал» локализуется в продольноосевой зоне трещин отрыва валообразного инъективного поднятия. По данным эксплуатационной разведки в стенках карьера выделены четыре зоны (группы) интенсивной трещиноватости, имеющие следующие ориентировки: северо-восточную, субширотную, северо-западную и систему послонных и секущих трещин. Наиболее характерна субширотная зона интенсивной трещиноватости мощностью от 100 до 200 м. Она фиксируется повышенной частотой трещин, которая в осевой части зоны возрастает в 10 раз по сравнению с ее

краевыми участками. В пределах этой структуры развит межмерзлотный нижнеордовикский водоносный комплекс, влияющий на обводнение подземных горных выработок рудника.

Аналогичная ситуация отмечается на трубках «Нюрбинская», «Ботуобинская», «Комсомольская» и других. Для подробного рассмотрения тектонического строения кимберлитовых трубок, их взаимоотношений с вмещающими породами остановимся на особенностях крупнейших трубках рудников «Удачный», «Интернациональный» и «Мир».

Кимберлитовая трубка «Удачная» расположена на границе разнофациальных криогидрогеологических структур и при этом состоит из двух сопряженных тел: западного и восточного [2]. Анализ тектонической обстановки на месторождении показывает, что оба рудных тела расположены в четком разломном узле, образованном пересекающимися диагональными системами региональных разрывных нарушений, осложненными мелкими околотрубочными локальными разрывами [4]. Северо-восточная система является более мощной и ранней, так как контролирует местоположение мелких кимберлитовых тел и жил вблизи сдвоенных трубок (рис. 1). На глубоких горизонтах эта система четко выражена зонами дробления, окварцевания и пиритизации пород, мелкими параллельными разрывами или крупными трещинами. Особенно четко зоны дробления северо-восточной системы разрывных нарушений наблюдаются в западном теле трубки. Посттубочные зоны разрывных нарушений преимущественно северо-западного направления, связанные с пермотриасовыми и позднемезозойскими тектоно-магматическими активизациями, секут трубку «Удачная» и околотрубочные вмещающие породы.

Северо-западные системы разрывных нарушений выражены преимущественно зонами повышенной или интенсивной трещиноватости и катаклаза пород, особенно в верхних частях осадочного чехла. Они более молодые и кон-

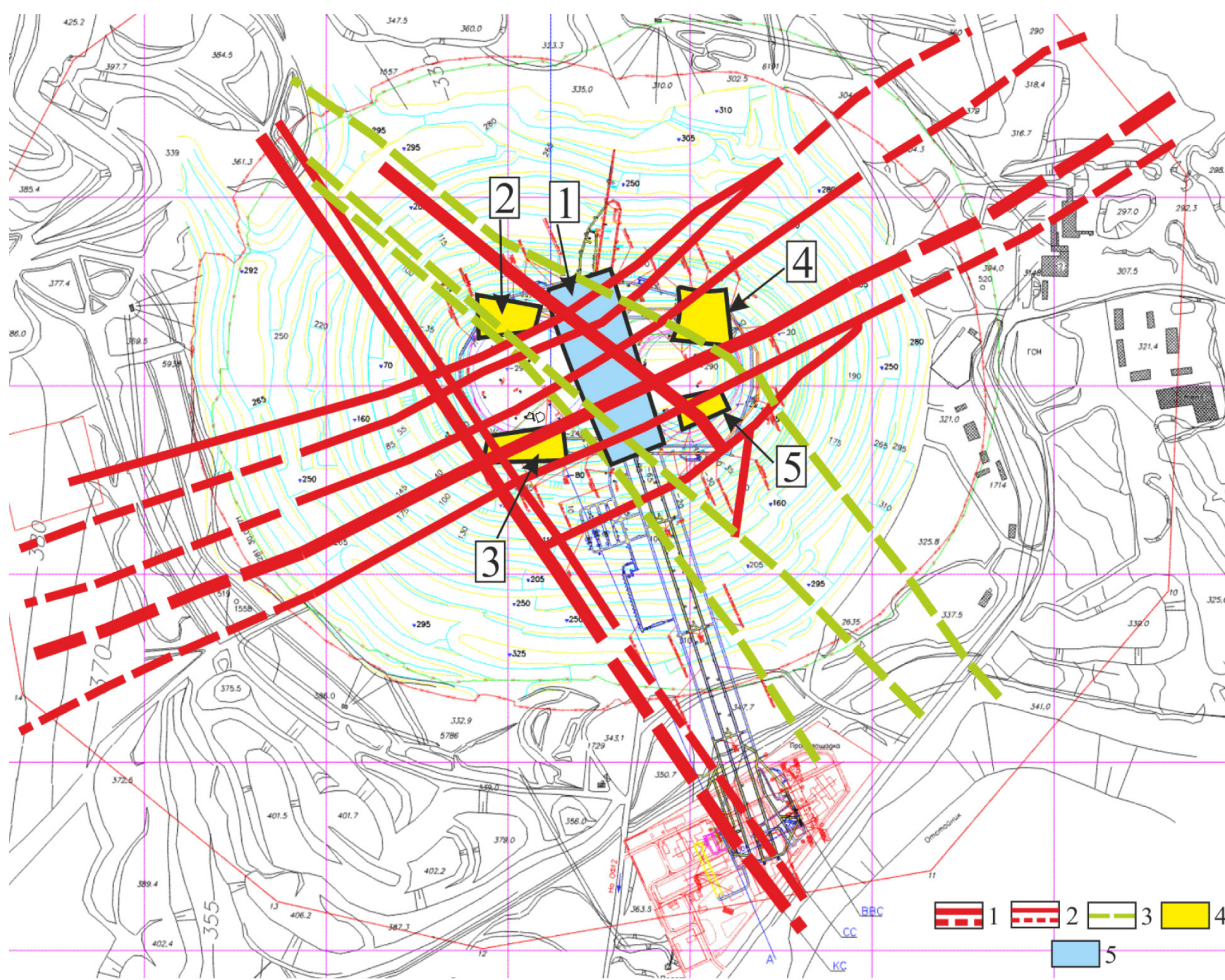


Рис. 1. Главные системы разломов на трубке «Удачная»:

1 – главные разломы (сплошная линия) и их предполагаемое продолжение (пунктирная линия); 2 – второстепенные разломы (сплошная линия) и их предполагаемое продолжение (пунктирная линия); 3 – зоны повышенной трещиноватости; 4 – обводненные участки; 5 – опасный участок для проходки горных выработок

тролируют большинство долеритовых интрузий в регионе. С влиянием этих деформаций связаны основные криогеологические структуры для захоронения дренажных вод трубки «Удачная» в верхней части криолитозоны. В пределах карьера развиты в подавляющем большинстве крутопадающие системы трещин с углом падения 70–90°. Горизонтальная трещиноватость проявлена преимущественно только по поверхностям напластования, вдоль стратиграфических границ пород с различными реологическими свойствами. Подчеркнем, что основной приток подземных вод в карьер и

подземный рудник приурочен к трещинной нарушенности толщ пород, главным образом, северо-восточного простирания, связанной с региональными разломными зонами глубокого заложения.

Изучение взаимоотношений крупных спаренных кимберлитовых тел на больших глубинах позволило получить совершенно новое представление о строении приконтактовых блоков пород, их вторичных изменениях и флюидонасыщенности. Оказалось, что осадочные толщ межтрубного пространства имеют грабенообразное строение, со ступенчатым опусканием блоков и

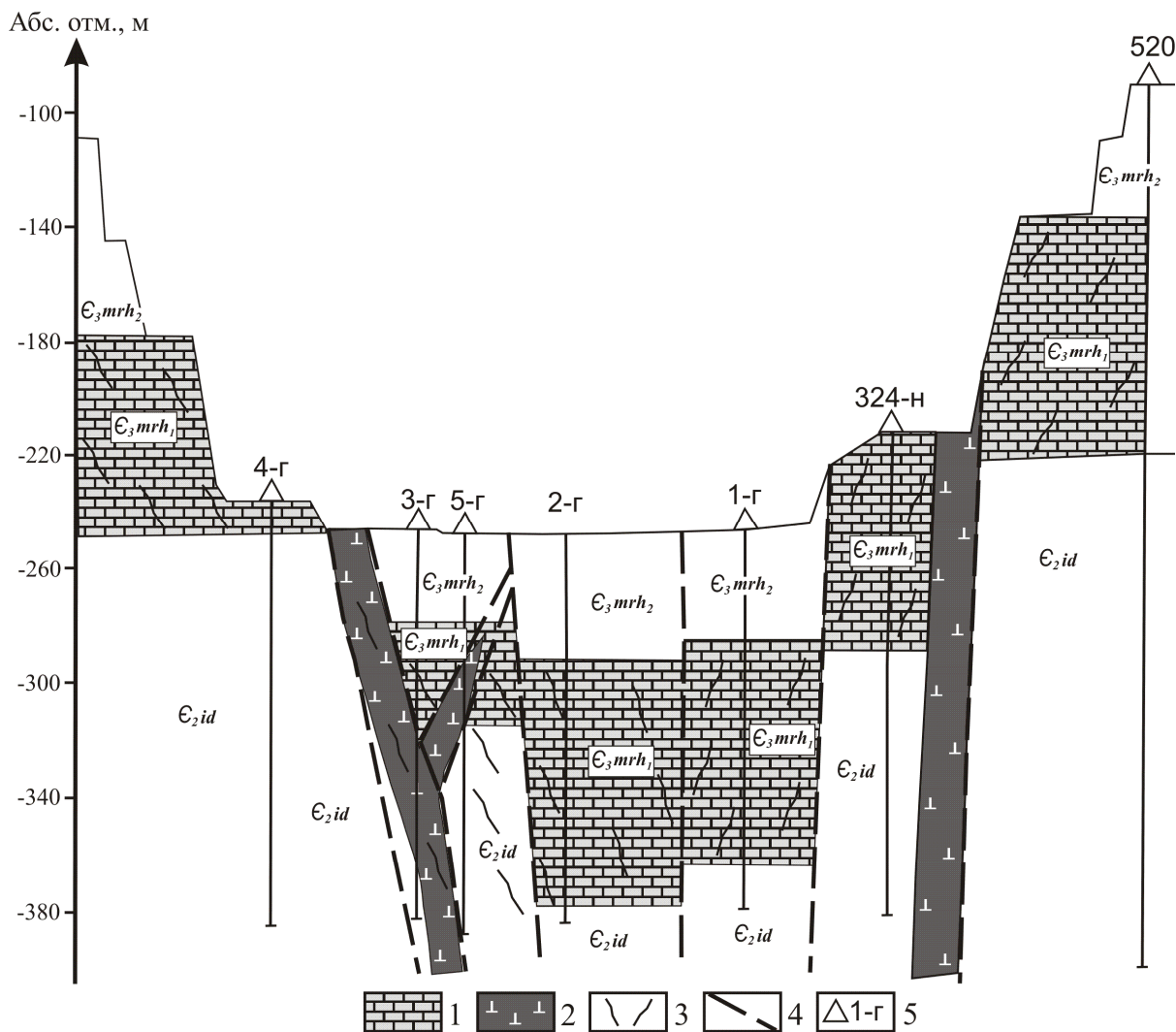


Рис. 2. Схематический геологический разрез межтрубного пространства:

1 – реперная пачка палеозойских отложений; 2 – кимберлитовое тело; 3 – трещиноватость пород; 4 – крупные тектонические нарушения; 5 – скважины

амплитудой смещения в центральной части около 140 м (рис. 2). Результаты исследований вскрываемых блоков выявили резко изменчивую степень их водообильности и повсеместную высокую газонасыщенность, которые напрямую связаны с трещинной нарушенностью пород. Наглядное свидетельство о влиянии разрывных нарушений на обводнение подземных выработок проявилось при проходке вентиляционных квершлаггов по межтрубному пространству на горизонте -380 абс. м. Притоки рассолов в забои подземных выработок при вскрытии трещинных зон достигали 50–80 м³/ч. Длительность значительного водопритока составляла 1–2 месяца, после чего ин-

тенсивность подтока флюидов снижалась до первых м³/ч.

На основе изучения структуры околотрубного пространства и внутреннего строения кимберлитового комплекса трубки выявлены три этапа формирования разрывных нарушений и всего рудного узла [6]. Первый этап связан с северо-восточной системой разрывных нарушений. На втором этапе произошла смена полей напряжений, формирование северо-западных дизъюнктивных нарушений и одновременная активизация северо-восточной системы разломов. Широкое развитие сколовых дислокаций северо-восточного направления приводило к пульсационному раскрытию зияющих пустот (раструбов) и пе-

риодическому внедрению в них основного объема кимберлитовых фаз трубок. С третьим этапом связана активизация северо-западной системы разломов и внедрение позднепалеозойских-раннемезозойских даек долеритов.

В результате длительной эволюции земной коры и многократного тектонического воздействия на рудные тела (сжатия, растяжения, перемещений переменного знака вдоль нарушений и т.д.) происходит изменение геодинамической напряженности породных блоков, физико-механических свойств пород и их проницаемости для подземных флюидов. По-видимому, неслучайно зоны разрывных нарушений, зафиксированных в западном и восточном телах, совпадают с участками кимберлитов с наименьшей крепостью. В западном теле трубки это линейные зоны северо-западного направления, а в восточном теле – субмеридианальная зона.

Таким образом, для трубки «Удачная» водообильность, газонасыщенность кимберлитов и вмещающих пород до глубины -1080 абс. м существенно различается как по вертикали, так и по латерали и зависит от структурно-тектонических особенностей месторождения. Основной подток газонасыщенных флюидов для этого месторождения связан с кимберлитоконтролирующими разломами северо-восточного простирания. Большая часть газовых выделений и выбросов в горных выработках приурочена к данным зонам наиболее древних тектонических структур. Для перехвата мигрирующих газонасыщенных флюидов необходимо производить возмущение всей газогидродинамической системы с выделения газов как наиболее подвижной фазы. Поэтому опережающая откачка рассолов из скважин за пределами горных выработок с северо-восточного и юго-западного флангов приведет к предварительной дегазации массива и перехвату подтока газонасыщенных флюидов из смежных областей.

Основные водопритоки в карьерное пространство при отработке месторождения трубки «Мир» до глубины 500 м были связаны со вскрытием подмерзлотных разломных зон субмеридионального простирания. Опережающее осушение карьера зависело, главным образом, от эффективной работы насосов в водопонижающих скважинах, расположенных на северном и южном флангах. Причем доля притока подземных рассолов с этих направлений достигала 85–95% от общего объема. При осушении месторождения от поступающих газонасыщенных рассолов произошло формирование депрессионной воронки, максимальный радиус которой достигал 70 км, а ее форма зависела от проницаемости прилегающего массива пород и региональных структурообразующих разрывных дислокаций в районе.

Характер взаимоотношений и последовательность образования разрывных структур для трубки «Мир» и связанных с этим различных нарушений в осадочном чехле при внедрении интрузивных тел хорошо отслежены в карьере. Геологическая структура осадочных пород околорудного пространства трубки определяется контрастно проявленной асимметричной антиклинальной складкой субмеридионального простирания, выраженной клиновидным грабеном с амплитудой 15–20 м в центральной части. Данная структура занимает до 40–50% карьерного пространства. В осевой плоскости этих гетерогенных и асинхронных структур расположена мощная субвертикальная зона дробления, трассирующая Параллельный разлом, заполненный долеритами до отметки +40 м (рис. 3). Сложно выраженная тектоническая структура при ширине около 500 м сопровождается серией разрывных нарушений сбросо-взбросового характера. Разрывные

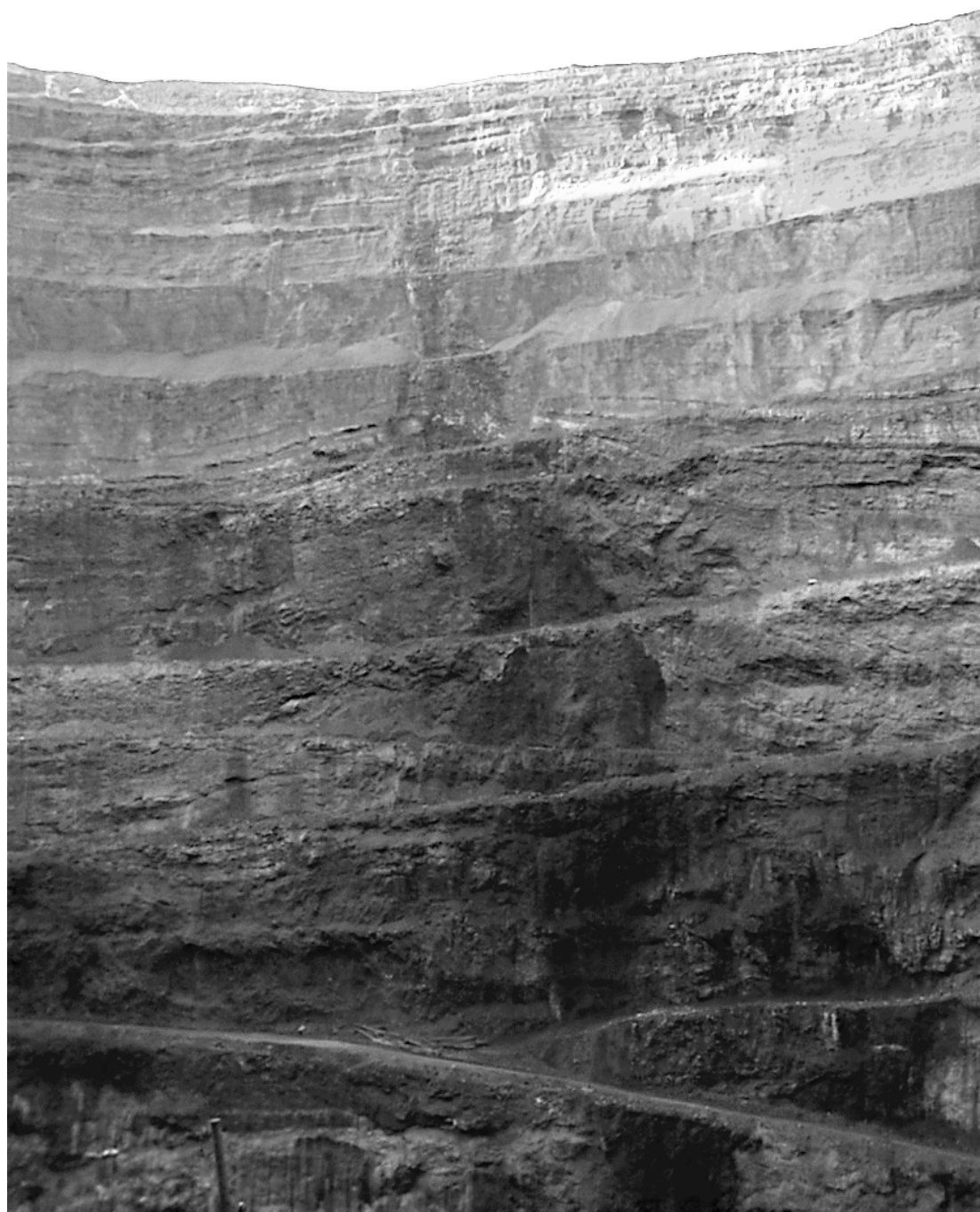


Рис. 3. Дайка долеритов в северном борту карьера «Мир»

нарушения северо-западного и северо-восточного простираний имеют подчиненный характер как по количеству, так и по масштабу структуроформирующего воздействия на вмещающие породы. Общая трещиноватость околорудного пространства относительно равномерна и имеет региональный характер с установленными системами трещин: преобладающей субмеридиональной ($5-20^\circ$),

субширотной ($75-85^\circ$) и северо-западной ($305-315^\circ$).

По характеру взаимоотношений различных тектонических элементов в исследованном рудном узле геологические структуры можно разделить по относительному возрастному показателю на несколько стадий развития. В целом последовательность формирования долеритовых и кимберлитовых тел пред-

ставляется следующим образом:

- внедрение пластообразных тел долеритов, а затем дайки долеритов в центральную часть субмеридионального (Параллельного) глубинного разлома;
- инъекции кимберлитовых жил по оперяющим трещинам северо-западного простирания;
- одноактное образование трубки-сателлита («Спутник»);
- многоактное формирование основной трубки («Мир»).

Выполненные исследования позволили сделать определенный вывод о том, что основные пликативные и дизъюнк-

тивные деформации на месторождении связаны с докимберлитовым этапом формирования тектонической обстановки в регионе. Последующие этапы разработки глубоких горизонтов и вскрытие метегеро-ичерского водоносного комплекса наглядно показало ведущую роль субмеридиональных разрывных дислокаций в обводнении месторождения. При подземной отработке трубки основные проблемы добычных работ и сопутствующих при этом осложнений связаны с наличием разрывных нарушений, приуроченных к вытянутой оси рудного тела.

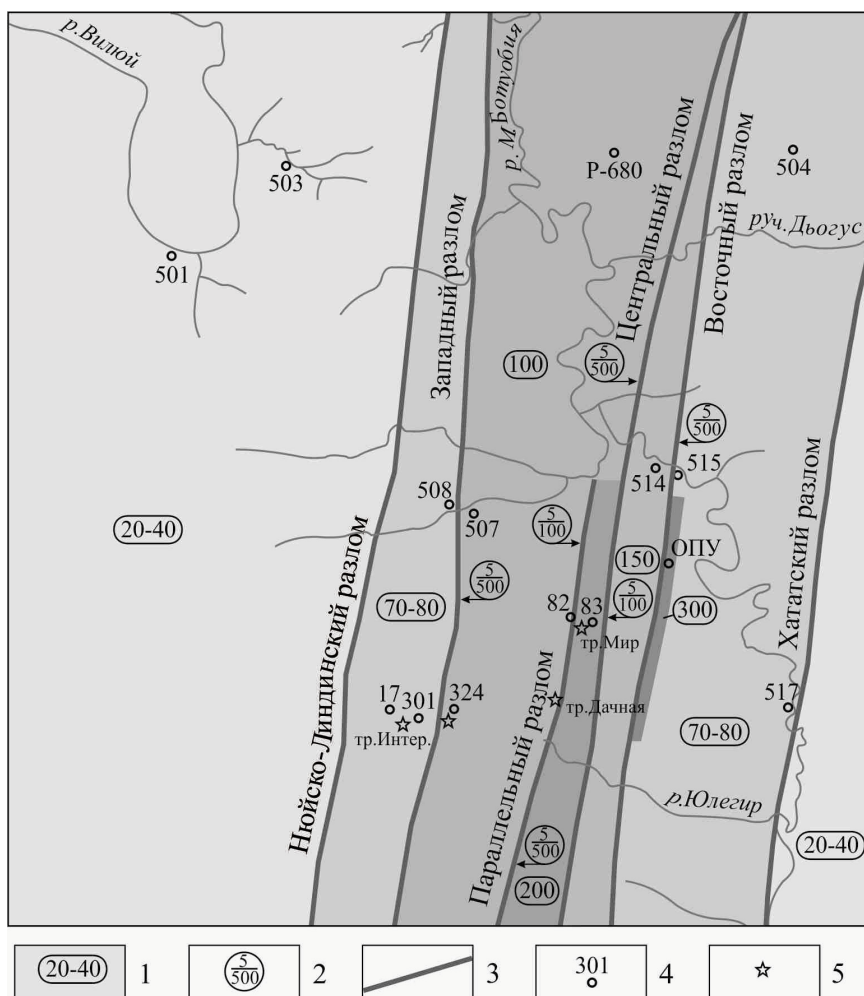


Рис. 4. Гидрогеологическая схема подмерзлотного метегеро-ичерского водоносного комплекса в Мало-Ботубинском районе:

1 – блоки пород в пределах водоносного комплекса, обладающие близкими по значениям фильтрационными свойствами, цифры – коэффициенты водопроводимости, $m^2/сут.$; 2 – субмеридиональные разломные зоны; 3 – фильтрационные показатели центральной части разломных зон: в числителе – коэффициент водопроводимости, $m^2/сут.$, в знаменателе – мощность зоны, м; 4 – гидрогеологические скважины и их номера; 5 – кимберлитовые трубки

Параллельный разлом, являясь частью Вилуйско-Мархинской зоны глубинных разломов (рис. 4), представляет, по мнению некоторых исследователей, достаточно простую тектоническую структуру, прорывающую осадочный комплекс пород без существенных преобразований. Это подтверждается строением его осевой части, где мощная зона дробления постепенно сужается сверху. Проявлением этой структуры являются трассирующие базитовые образования среднепалеозойского возраста, картируемые на поверхности в некотором удалении от месторождения. Субпараллельные разрывы, сопровождающие Параллельный разлом, были безамплитудными, более поздними, однако значительно обводненными на уровне метегероичерского водоносного комплекса. Эти нарушения как раз и оказали основное влияние на водопритоки в горные выработки на месторождении.

Таким образом, исследования околорудного пространства «Мир – Спутник» позволили сделать вывод о том, что основные контрастные пликативные и дизъюнктивные деформации в районе месторождения связаны с докимберлитовым этапом формирования структурно-тектонической обстановки. Это подтверждается также изучением многочисленных обнажений в удалении (на несколько км) от кимберлитопроявлений, пересекающих ряд разломов Вилуйско-Мархинской зоны, где наблюдаются различные локальные дислокации (в основном, разрывные), связанные с глубинными разломами. Начальные и основные водопритоки газонасыщенных рассолов в карьерное пространство при отработке месторождения трубки «Мир» были связаны со вскрытием подмерзлотных разломных зон субмеридионального простирания.

Трубка «Интернациональная» приурочена к Кюелляхскому разлому и расположена в 0,4–0,5 км западнее его центральной части. В подземных горных выработках рудника с 8-го горизонта и ниже, пройденных в породах

нижнего кембрия, основные флюидопроявления связаны с зоной, включающей рудовмещающий разлом. Разрывная структура мощностью до 30 м достаточно четко проявляется в виде фиксируемых границ нефтенасыщения пород, внутри которых отмечаются динамичные рассоло- и газопроявления. Характер флюидопроявлений выражается в пульсирующем режиме с давлением на устье до 7,9 МПа при величине водопритока 27–30 л/мин. Для обеспечения безопасных условий проходки подземных выработок на 9-м и 10-м горизонтах и осуществления добычных работ необходимо выполнять постоянное дренирование и дегазацию существующей разломной зоны.

Обобщая вышеизложенное, можно сделать следующий вывод: наибольшая обводненность и основная часть притока газонасыщенных рассолов в подземные горные выработки на алмазных месторождениях Якутии связаны с древними региональными разрывными нарушениями. В процессе дальнейшего строительства и эксплуатации подземных рудников АК «АЛРОСА» изучению и оценке опасных природных факторов, связанных с особенностями структурно-тектонической обстановки, необходимо уделять серьезное внимание, так как возможны аварийные ситуации при вскрытии локальных высокопроницаемых разрывных зон, резкое увеличение газо- и водопритоков и возникновение непредвиденных дополнительных затрат на конечных стадиях освоения алмазных месторождений.

Библиографический список

1. Гладков А.С., Семинский К.Ж., Борняков С.А. и др. Тектонофизический подход к анализу структурного контроля алмазоносных кимберлитовых трубок (на примере трубки «Айхал») // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. С. 283–288.

2. Дроздов А.В., Егоров К.Н., Готовцев С.П., Климовский И.В. Особенности гидрогеологического строения и гидрохимической зональности кимберлитовой трубки «Удачная» // Комплексные мерзлотно-гидрогеологические исследования. Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1989. С. 145–155.

3. Дроздов А.В., Иост Н.А., Лобанов В.В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2008. 507 с.

4. Дроздов А.В., Мельников А.И. Особенности строения многофазных кимберлитовых трубок (на примере трубки «Удачная») // Маркшейдерия и недропользование. 2009. № 1. С. 31–38.

5. Дроздов А.В., Мельников А.И. Оценка структурно-тектонической об-

становки – основа газогидродинамического районирования месторождения (на примере трубки «Удачная») // Маркшейдерия и недропользование. 2011. № 4(54). С. 35–39.

6. Егоров К.Н., Мельников А.И. Структурно-вещественная эволюция системы кимберлитовых тел трубки «Удачная» // Руды и металлы. 2012. № 1. С. 53–59.

7. Милашев В.А. Структуры кимберлитовых полей. Л.: Недра, 1979. 187 с.

8. Тектоника и алмазоносный магматизм / Н.Н. Зинчук, А.Д. Савко, Л.Т. Шевырев. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2004. 284 с.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник Института земной коры СО РАН С.Х. Павлов