

А.В. Дроздов**ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА «УДАЧНЫЙ»**

Выполнен обзор горно-геологических и технологических проблем подземного рудника «Удачный». Исследованиями установлено, что дренажные рассолы месторождения трубки Удачной содержат ряд ценных и крайне необходимых для народного хозяйства компонентов. Наиболее высокие концентрации, отвечающие промышленным кондициям, имеют распространенные в регионе крепкие рассолы, содержащие магний, литий, бром, рубидий, йод и др. Коррозионная агрессивность таких высококонцентрированных растворов на различные материалы, оборудование очень высока и обусловлена, прежде всего, кислой реакцией среды. Подмерзлотные воды региона характеризуются повсеместной газонасыщенностью, с наибольшим распространением в подземной гидросфере углеводородных газов. Предложена схема снижения мигрирующих газовых потоков с предварительной дегазацией прилегающих блоков пород вблизи трубки Удачной.

Ключевые слова: криолитозона, горно-геологические условия, газонасыщенные рассолы, трубка «Удачная», подземный рудник, агрессивность метаморфизованных вод.

Оработка глубоких горизонтов крупнейшего месторождения алмазов в Западной Якутии – трубки Удачной, связана с переходом на подземный способ добычи и возникновением при этом сопутствующих комплексных проблем строительства различных сооружений в экстремальных горно-геологических условиях криолитозоны. К осложняющим факторам, прежде всего, относятся: неравномерная обводненность подрабатываемых горных массивов газонасыщенными рассолами, которые обладают высокой агрессивностью к мерзлым породам, различным материалам и оборудованию; нефтегазонасыщенность кимберлитов и прилегающих вмещающих осадочных отложений; низкая устойчивость блоков пород в приконтактных частях кимберлитовых тел и др.

Механизм формирования кимберлитовых трубок в верхней части литосферы обычно связывают с процес-

сами растяжения, которые являются типичными проявлениями тектоники при рифтообразовании [5]. В пределах палеорифтовой зоны кимберлиты проникали в верхние горизонты земной коры по системам мелких скрытых каналов-трещин. Эти системы закладывались в областях пересечения глубинных выклинивающихся вверх по разрезу крупных зон растяжения, называемых кимберлитоконтролирующими структурами, и поперечных зон трансформных разломов. Эксплозивные процессы, сопровождались деструкцией локальных участков верхних частей консолидированной коры, изменением ее физико-механических свойств пород и увеличением газо- и водопроницаемости. К примеру, вскрытие в северо-восточном борту карьера Удачный кимберлитоконтролирующей зоны на горизонте +5 м (абс.) привело к увеличению водопритоков на 60–70% от всего стока, что позволило сделать вывод о прямой

связи между ниже (на 200 м) распространенным наиболее водообильным среднекембрийским водоносным комплексом и открытой горной выработкой. Через зону тектонических нарушений рассолы водоносного комплекса мигрировали в обрабатываемое пространство карьерного поля из сопряженных областей, обладающих высокими фильтрационно-емкостными показателями отложений.

Дизъюнктивные деформации, понижающие толщи пород независимо от литологической и стратиграфической принадлежности, соединяют водонасыщенные пласты в единую гидравлическую систему. Но существует ряд неопределенностей, выраженных в характере раскрытости и проницаемости дизъюнктивов как для подземных вод, так и газов по вертикали и латерали. Кроме этого, вторичные гидротермальные процессы (кальцитизация, сульфитизация и др.) наложили свой отпечаток на существующие зоны нарушений в кимберлитовых телах и во вмещающих осадочных толщах. Прежде чем оценивать роль разрывных нарушений в обводнении горных выработок необходимо детально отследить структурно-тектонические показатели участков кимберлитовой трубки и прилегающих массивов пород.

В основном, обводненные разломы рассматриваются как структуры, наложенные и подновляемые, которые обладают определенными для них особенностями (глубина, протяженность, степень раскрытия) и аномальными показателями (водообильность, химсостав и газонасыщенность подземных вод). Открытые тектонические нарушения осадочного чехла играют роль каналов миграции флюидов с различных глубин и пространств. Это особо негативно проявляется в спонтанных газопроявлениях разной степени интенсивности, наблюдаемых

на большинстве месторождений района. Высокая минерализация, состав, агрессивность 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 вод.

Подземные воды, с которыми наиболее широко и в больших масштабах в настоящее время соприкоснулись при строительстве подземного рудника «Удачный», представляют собой высококонцентрированные природные растворы солей (крепкие рассолы), относящиеся по компонентному составу к кальциевому типу. Этот тип рассолов, с концентрацией солей свыше 400 г/л, связан с метаморфизацией минерализованных растворов древних солеродных бассейнов [3]. Если рассматривать эти подземные воды с разных позиций, то можно обнаружить их резко противоположные качества. Являясь «жидкой рудой» и обладая рядом бальнеологических свойств, эти растворы имеют отрицательные показатели и свойства, сказывающиеся на эффективности строительства подземных сооружений, используемое электротехническое оборудование, применяемые материалы и влияющие на прилегающую экологическую обстановку при прямом сбросе в водотоки.

В результате исследований, проведенных ПНО «Якуталмаз», а в дальнейшем и АК «АЛРОСА» с привлечением ряда научных организаций СО РАН, было установлено, что дренажные рассолы месторождения трубки Удачной содержат ряд ценных и крайне необходимых для народного хозяйства компонентов. Наиболее высокие концентрации, отвечающие промышленным кондициям, имеют распространенные в регионе крепкие рассолы, содержащие магний, литий,

бром, рубидий, йод и др. К примеру, содержание брома превышает промышленные кондиции в 30 раз, лития в 15 раз, магния в 13 раз и т.д.

В то же время, коррозионная агрессивность таких высококонцентрированных растворов на различные материалы, оборудование (особенно – электротехническое) очень высока и обусловлена, прежде всего, кислой реакцией среды ($\text{pH} = 1\text{--}4$), газонасыщенностью и хлоридным кальциевым составом подземных флюидов. По агрессивному действию на металлы хлорид кальция, составляющий значительную часть состава метаморфизованных рассолов, стоит на первом месте, а высокая электропроводность рассолов обусловлена тем, что они являются растворами электролитов, зависящих от количества растворенных солей. Примеров на тему агрессивности кальциевых рассолов можно привести большое количество. Это касается насосного, горношахтного оборудования, карьерного автомобильного транспорта, оборудования обогатительных фабрик и т.д.

Согласно критериям агрессивности вод по отношению к бетону, распространенные рассолы агрессивны к бетонам любых марок по величине pH и содержанию магния, а в некоторых случаях и содержанию сульфатов. Содержащийся в цементах основной вяжущий компонент (оксид кальция) под воздействием рассолов активно разрушает цементный камень, который резко теряет свои прочностные свойства. Этот показатель устойчивости и долговечности считается основным при выборе крепежного материала стенок подземных горных выработок. С натурными фактами, подтверждающими этот негативный процесс, геологические службы ПНО «Якуталмаз» встретились давно, особенно при цементации обсадных колонн в скважинах различного назначения.

Наиболее ярко проявляется агрессивность метаморфизованных вод к мерзлым льдистым грунтам, которые при воздействии на них рассолов изменяют свои прочностные и фильтрационно-емкостные показатели [4]. Температура замерзания хлоридных кальциевых рассолов значительно ниже, нежели натриевых (на $15\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$), при этом характер кристаллизации минерализованного раствора при охлаждении совершенно иной. Начало зарождения кристаллов льда происходит при температуре $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$, а охлаждение рассола до температуры $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ не приводит к его полному замерзанию. Раствор приобретает кашеобразную массу с увеличением концентрации жидкой фазы. Поэтому прямой сброс рассолов (или совместно с породой) на дневную поверхность вблизи строящихся стволов приводит к деградации природного цемента мерзлых грунтов с последующей деформацией оснований уже построенных сооружений. Этот негативный фактор необходимо учитывать при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений рудника на месторождении.

К основным типам газовой составляющей в массивах вблизи трубки Удачной относятся три разновидности нахождения: свободная, сорбированная и растворенная [2]. Отмечена в определенных интервалах криогенных толщ и гидратная форма существования газовых эманации [1]. По составу основных компонентов природные газы подразделяются на азотные и углеводородные с их вариациями. При этом подмерзлотные воды региона характеризуются повсеместной газонасыщенностью, с наибольшим распространением в подземной гидросфере углеводородных газов (УВГ). Начиная со второго горизонта верхнекембрийского водоносного комплекса и ниже, распространенные рассолы насыщены



Рис. 1. Выброс газонасыщенных рассолов из приконтактной скважины на горизонте -205 м в карьере «Удачный»

данным типом газов с содержаниями до $1 \text{ м}^3/\text{м}$ (среднее – 0,6). Доля метана в них составляет 75–85%, концентрации тяжелых углеводородов возрастают до 1,9–10%, содержание азота падает до 2–10%, углекислого газа не более 2,8%>, водорода 0,1–1,2%, гелия 0,2%.

Суммарное содержание сорбированных и свободных газов в породах месторождения варьирует от нескольких десятков до $7000 \text{ см}^3/\text{кг}$. Причем, среднее содержание сорбированных газов, как правило, выше, чем свободных. В составе как сорбированных, так и свободных газов основное место принадлежит азоту (30–60%>, абс) и углеводородам (24–45%, абс); в подчиненных количествах представлены CO_2 и H_2 . Их содержания в свободных газах, как правило, не превышают первые проценты. Однако встречаются газовые ловушки в кимберлитовых телах трубки, где концентрации водорода в смеси могут пре-

вышать содержания метана. Так при вскрытии апикальной части второй водоносной зоны в Восточном теле произошел выброс спонтанного газа с содержанием водорода до 52% и суточным дебитом около 100 тыс. м.

В кимберлитах спонтанные выделения УВГ приурочены, в основном, к зонам эндогенной трещиноватости, на контактах разных типов (фаз внедрения магматического вещества) и газовым ловушкам (карстовым пустотам) в рудных телах. Помимо рассмотренных общих закономерностей, величина газонасыщенности отдельных проницаемых участков массивов пород тесно связана с их тектонической нарушенностью, т.е. возможности миграции газов из глубинных интервалов прилегающего подземного пространства. Это наглядно подтверждается спонтанными газопроявлениями при вскрытии кимберлитоконтролирующих и приконтактных зон рудных тел с вмещающими породами (рис. 1). Та-

кие газо-водяные выбросы высотой до 15 м наблюдались в течение нескольких месяцев и обладали циклическим характером интенсивности, завися от многих причин: атмосферного и пластового давления, подтока рассолов и т.д.

При осушении месторождения от поступающих газонасыщенных рассолов происходит снятие давления в подземной гидросфере с формированием вокруг горной выработки депрессионной воронки, форма которой зависит от проницаемости прилегающего массива пород и региональных структурообразующих разрывных дислокаций в районе. Для трубки Удачной основной подток газонасыщенных флюидов связан с кимберлитоконтролирующими разломами северо-восточного простирания. Большая часть интенсивных газовых выделений и выбросов в горных выработках приурочена к этим зонам

наиболее древних тектонических структур. Для перехвата мигрирующих газонасыщенных флюидов необходимо производить возмущение всей газогидродинамической системы с выделения газовых эманации, 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 в пределах депрессионной воронки. Предлагаемая схема снижения мигрирующих газовых потоков с предварительной дегазацией прилегающих блоков пород вблизи трубки Удачной вполне приемлемое решение.

В 2006 г. МСШСТ АК «АЛРОСА» при проходке наклонного съезда для ускоренного вскрытия подкарьерных запасов на гор. -305÷380 м столкнул-

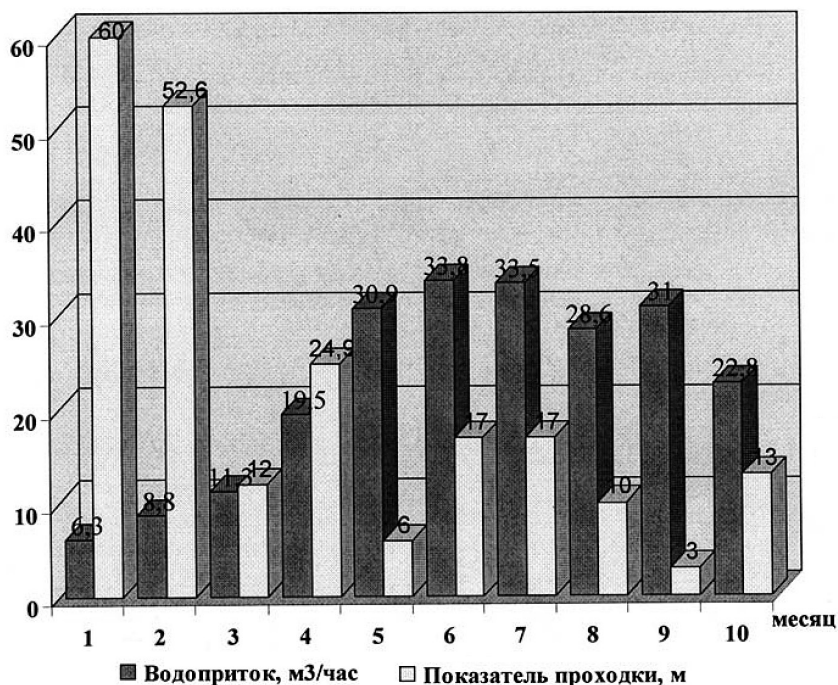


Рис. 2. Интенсивность проходки и водоприток по наклонному съезду за 2006 г.

ся с рядом закономерных осложнений, связанных с горно-гидрогеологическими условиями строительства подземных выработок рудника «Удачный», а водопритоки крепких агрессивных рассолов достигли до 35 м/час, при этом интенсивность проходки уменьшилась с 50–60 до 3–6 м/месяц (рис. 2).

Основные причины снижения темпов проходки выработок обусловлены постоянными простоями, связанными с внеплановым ремонтом шахтного и насосного оборудования за счет воздействия агрессивных рассолов на применяемое оборудование, увеличения притоков подземных вод в рабочее пространство наклонного съезда, а также необходимостью его дополнительного осушения при технологических остановках (загазованность карьерного поля, взрывные работы и т.п.). К примеру, за счет выхода из строя насосного оборудования простои по проходке выработки за 4 последних месяца составили 436 часов, из-за поломок ПДМ – 204,5 часа, буровой установки «Boomer» – 82 часа. Только насосов разных модификаций было использовано 31 единица, большая часть которых не подлежит восстановлению. Главные причины выхода из строя применяемого оборудования и механизмов связаны с крайне высокой агрессивностью природной среды и свойствами откачиваемых флюидов.

Общая гидрогеологическая и газовая ситуации на месторождении трубки Удачной и, в частности, в районе участков строительства стволов руд-

ника и проходки подземных выработок для вскрытия подкарьерных запасов с использованием выработанного пространства карьера, в настоящее время существенным образом определяются дренированием карьером водоносных комплексов, которые гидродинамически связаны между собой по разрывным нарушениям. Реально существующее вскрытие подземными выработками высокопроницаемых и газонасыщенных участков (особенно, в дальнейшем, при подходе к приконтактовым трещиноватым зонам рудных тел) и резкое увеличение водопритоков в рабочее пространство будет значительно препятствовать горнопроходческим работам.

Резюмируя выше изложенное, можно сделать следующие выводы. Без проведения планомерных поэтапных мероприятий, включающих локальное опережающее водопонижение и осушение от агрессивных рассолов разрабатываемых массивов горных пород, трудно выполнять проходку и уложиться в график подготовительных, вспомогательных и горнокапитальных работ по своевременному строительству подземных сооружений на месторождении. Кроме этого перехват мигрирующих водогазонасыщенных флюидов с ниже лежащих и прилегающих областей подземной гидросферы, путем создания локальных депрессий при откачках, способствует снижению газонасыщенности рабочего пространства в забоях подземных выработок (включая и вертикальные стволы) рудника «Удачный».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов В.Н., Дроздов А.В. О признаках газовых гидратов в криолитозоне на севере Западной Якутии // Тезисы докладов XII Всесоюзного совещания по подземным водам Востока СССР. – Иркутск – Южно-Сахалинск, 1988. – С. 124–125.

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. Техногенные процессы в криолитозоне при разработке месторожде-

ний алмазов на севере Западной Якутии // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов: Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Т. I. Архангельск: Институт экологических проблем Севера УрО РАН, 2004. – С. 255–259.

4. Дроздов А.В. Подземное захоронение дренажных рассолов в многолетнемерзлые породы (на примере Удачинского ГОКа в

Западной Якутии) // Геоэкология. – 2005. – № 3. – С. 234–243.

5. Зинчук Н.Н., Савко А.Д., Шевырев Л.Т. Тектоника и алмазоносный магматизм. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2004. – 284 с.

6. Дроздов А.В. К вопросу о формировании криогидрогеологических структур Сибирской платформы // Наука и образование. – 2004. – № 4. – С. 62–69. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Дроздов Александр Викторович – кандидат геолого-минералогических наук, АК «АЛРОСА, Институт «Якутнипроалмаз», e-mail: DrozdovAV@alrosa.ru.

UDC 622.272

MINING-AND-GEOLOGICAL AND ENGINEERING PROBLEMS IN CONSTRUCTION OF UDACHNY UNDERGROUND MINE

Drozdov A.V., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, ALROSA, Yakutniproalmaz Institute, 678174, Mirny, Russia, e-mail: DrozdovAV@alrosa.ru.

The article gives a review of the mining-and-geological and engineering problems in Udachny mine. According to the research results, drainage brines in Udachny mine contain a number of valuable and critical elements for national economy. The highest concentrations meeting industrial standards belong in the regionally spread strong brines containing magnesium, lithium, iodine, etc. Corrosiveness of these high-concentration brines relative to various materials and equipment is very high and depends, first of all, on the acidic reaction of the medium. Intrapermafrost water in the region is characterized by the overall gas-saturation, with maximum content of hydrocarbon gases. The article offers a reduction chart for migrating gas flows with predegassing of rock blocks adjoining Udachnaya pipe.

Key words: permafrost zone, mining-and-geological conditions, gas-saturated brines, Udachnaya pipe, underground mine, metamorphized water corrosiveness.

REFERENCES

1. Borisov V.N., Drozdov A.V. *Tezisy dokladov XII Vsesoyuznogo soveshchaniya po podzemnym vodam Vostoka SSSR* (Head-notes of papers of XII All-Union Conference on Underground Water in the East USSR), Irkutsk–Yuzhno-Sakhalinsk, 1988, pp. 124–125.
2. Drozdov A.V., Egorov K.N., Gotovtsev S.P., Klimovskii I.V. *Kompleksnye merzlotno-gidrogeologicheskie issledovaniya* (Integrated permafrost–hydrology research), Yakutsk: IMZ SO AN SSSR, 1989, pp. 145–155.
3. Drozdov A.V. *Geodinamika i geologicheskie izmeneniya v okruzhayushchei srede severnykh regionov: Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Т. I. (Hydrodynamics and Geological change in the Environment of the Northern Regions: Proceedings of International Conference in Partnership with Foreign Scientists, vol. I), Arkhangel'sk: Institut ekologicheskikh problem Severa UrO RAN, 2004, pp. 255–259.
4. Drozdov A.V. *Geoekologiya*, 2005, no 3, pp. 234–243.
5. Zinchuk N.N., Savko A.D., Shevyrev L.T. *Tektonika i almazonosnyi magmatizm* (Tectonics and diamond magmatism), Voronezh: Voronezhskii gos. un-t, 2004, 284 p.
6. Drozdov A.V. *Nauka i obrazovanie*, 2004, no 4, pp. 62–69.

