

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УЧАСТКА ПОДЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ
ВОСТОЧНОГО РУДНОГО ТЕЛА ТРУБКИ «УДАЧНАЯ»**

М.С. Зарубов

Научный руководитель, доцент К.И. Кузеванов

**Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет,
г. Томск, Россия**

Работа алмазодобывающих предприятий Западной Якутии сталкивается с проблемой обводнения горных выработок за счёт притока подземных вод глубоких горизонтов, представленных преимущественно крепкими рассолами. В этих условиях прогнозные расчёты водопритокков приобретают особое значение для выбора наиболее рациональной схемы утилизации дренажных вод высокой степени минерализации. Необходимо учитывать весьма ограниченные возможности поверхностных водных объектов как потенциальных приемников дренажного стока.

Крупнейшее в России месторождение алмазов, трубка «Удачная» расположено в пределах Далдынского кимберлитового поля, приуроченного к зоне сочленения Анабарской антеклизы и Тунгуской синеклизы. Разрез представлен преимущественно глинистыми известняками, оолитовыми мергелями, с редкими прослоями строматолитовых известняков кембрийского возраста, в основании которых лежат окремненные доломиты с прослоями мергелей. Начиная с 2015 г. месторождение отрабатывается исключительно подземными горными выработками. Проектом предусмотрена отработка участка до 2029 г. Основная часть водопритокков в горные выработки приходится на подмерзлотные воды, представленные тремя водоносными комплексами трещинно-порового типа: верхнекембрийским (ВБК), среднекембрийским (СБК) и нижнекембрийским (НБК). Меньшая доля водопритокков приходится на обводненные зоны рудных тел. Подземные воды представлены рассолами хлоридно-кальциевого анионного состава с минерализацией 350 – 400 г/л и повышенными показателями плотности до 1,1 – 1,3 г/см³. В газовом составе преобладает азот, достигающий 30 – 60 % и углеводороды на уровне 25 – 45 %, менее распространены углекислый газ и водород.

Кимберлитовая трубка «Удачная» у поверхности состоит из двух рудных тел, западного и восточного, которые на глубине более 250 м объединяются. В настоящее время ведется отработка западного рудного тела. По восточному рудному телу отработка только начинается проходкой по нему подземных очистных горных выработок, поэтому проблема прогноза водопритокков на перспективу приобретает особую актуальность.

Месторождение имеет сложные гидрогеологические условия отработки за счет многообразия условий залегания подземных.

На начальном этапе аналитические расчёты проводятся по методу обобщенных систем, предполагающему использование расчётной схемы «большого колодца» в условиях неограниченного пласта. Конкурирующие варианты расчётов проводятся для различных величин обобщенных параметров, последовательно принимающих значения для рудного тела, вмещающих пород или осреднённых параметров. Полученные результаты аналитических расчётов водопритокков сравниваются с фактическими расходами дренажных вод и на основе этого сравнения выбирается наиболее оптимальная расчётная схема.

На последующих этапах отработки с ростом радиуса депрессии в расчётную схему включаются внешние граничные условия, важнейшим из которых является наличие крупных тектонических нарушений. Результаты расчёта водопритокков по схеме полуограниченного пласта или пласта-полосы выполняются для различных вариантов взаимодействия с тектоническим нарушением как границей второго (непроницаемая) или третьего (полупроницаемая) рода и снова сравниваются с фактическими водопритокками. Расчётная схема вновь уточняется для применения на последующих этапах развития рудника.

При полном развитии фронта горных работ и накоплении дополнительной геологической информации, достаточной для достоверного описания гидрогеологических условий в границах депрессии пьезометрической поверхности, прогнозы водопритокков целесообразно выполнять с использованием численного моделирования. Нами показаны возможности гидродинамической модели рудного тела в среде программного комплекса GMS (Groundwater Modeling System), которые одновременно учитывают и пространственную неоднородность фильтрационных параметров и наличие внешних границ области фильтрации с изменчивым гидравлическим характером. Результаты моделирования показывают, что применение компьютерной технологии прогноза на начальных этапах отработки резко ограничивается острым дефицитом гидрогеологических данных. Полноценное применение моделирования требует бурения и опробования дополнительных гидрогеологических скважин. Схематизация гидрогеологических условий показывает, что такой первоочередной задачей является изучение разреза по профилям, ориентированным в направлении существующего карьера и, выявленных по результатам геофизических работ, региональных тектонических нарушений северо-западного (310°-320°) и северо-восточного простирания (55°-75°) с высокой водообильностью, при вскрытии которых приток рассолов может возрастать на 130 м³/ч.

Дополнительная гидрогеологическая информация позволяет повысить надёжность аналитических расчётов и даёт необходимый материал для калибровки численной гидродинамической модели как с учётом уровней пьезометрической поверхности, так и с учётом характера граничных условий.

Основным источником обводнения рудника «Удачный» является среднекембрийский водоносный комплекс, приуроченный к глинисто-карбонатным отложениям первой пачки мархинской свиты (C_{3mrh}). Дополнительные водопритокки формируются за счёт водонасыщенной зоны рудного тела, которая может иметь гидравлическую

связь с вмещающими породами. Верхнекембрийский водоносный комплекс в формировании водопритоков в подземные горные выработки участия не принимает, так как полностью дренируется карьером. Атмосферные осадки обеспечивают ежегодный водоприток в открытые горные выработки в объёме близком к 10 тыс.м³, приходящийся в основном на период снеготаяния и удаляемый дренажной системой. Нижнекембрийский водоносный комплекс участия в формировании водопритоков не принимает, так как залегает ниже горизонтов, планируемых к отработке. Таким образом, за основу для аналитических расчётных схем и численной модели принимается однослойная область фильтрации с пространственной неоднородностью фильтрационных параметров. В аналитических расчётах указанная пространственная неоднородность учитывается сравнением нескольких вариантов расчёта с разными значениями осреднённого коэффициента фильтрации и коэффициента пьезопроводности. При разработке численной модели изменчивость фильтрационных параметров задаётся на пространстве конечно-разностной сетки, для этого используются специализированные гидрогеологические карты, уточняемые в процессе эксплуатации месторождения при развитии фронта очистных работ. Данные о химическом составе подземных вод необходимы при физико-химическом моделировании прогноза смешения природных растворов с целью выбора наиболее оптимального варианта утилизации дренажных вод и минимизации воздействия на окружающую среду. В рамках настоящей работы постановка геомиграционных задач не предусмотрена.

Характеристика среднекембрийского водоносного комплекса приводится по материалам геологической службы рудника. Кровля водоносного комплекса находится на отметках от -175 до -210 м. Общая мощность водовмещающих пород изменяется от 810 до 870 м. При этом эффективная мощность пластов-коллекторов в разрезе достигает 280 – 328 м, обладая выраженной изменчивостью в плане. Подошвой являются плотные карбонатные породы нижней части удачининской свиты. Общая пористость пород не высока и лежит в пределах 2 – 18%. Подземные воды аккумулируются в пластах-коллекторах и зонах трещиноватости, где могут фиксироваться скопления нефти и газа. Это является дополнительным фактором, осложняющим отработку рудной залежи. Коэффициент водопроводимости подвержен весьма существенной изменчивости в пределах пяти математических порядков от 0,024 до 113 м²/сут. Коэффициент пьезопроводности изменяется в широких пределах от 1×10^3 до 1×10^6 м²/сут. Проходка горных выработок показала наличие напорных вод и зон повышенной трещиноватости на контакте рудного тела с вмещающими породами, по которым могут ожидать повышенные водопритоки. План горных выработок показан на рис 1.

Данные по водопритокам в горные выработки на 01.09.2016 г вынесены на план (рис 2.): Водопритоки на разных уровнях отработки (-305, -320, -365, -380, -480, -580, -650) существенно изменяются от 117 м³/час (горизонт -365 м) до 4,3 м³/час (горизонты -580 и -650 м). По состоянию на 1 октября 2015 года общий шахтный приток подземных вод составляет около 460 м³/ч.

Дополнительные водопритоки за счет поверхностных и подземных вод могут достигать 200 м³/час, а использование технических добавляет к суммарному расходу еще около 50 м³/час.



Рис. 1. План горных выработок гор.-365

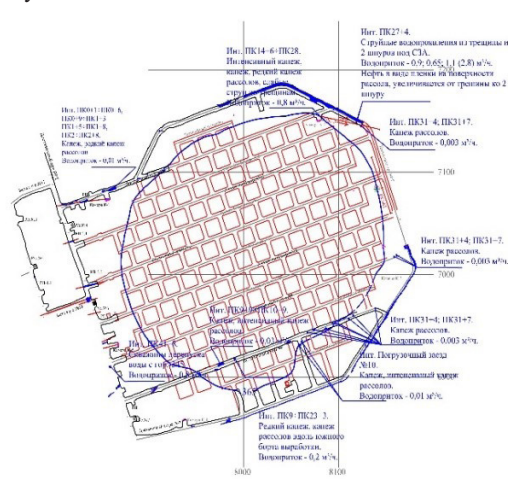


Рис. 2. План водопроявлений гор.-365

Расчётные размеры области фильтрации контролируются условным радиусом влияния искусственного водоотлива, который определяется по зависимости вида $R = 1,5 \sqrt{at}$. С учётом коэффициента пьезопроводности вмещающих пород (1×10^6 м²/сут) на первоначальный пятилетний срок отработки рудного тела расчётный радиус нарушенного режима фильтрации достигнет 64 км. В указанных границах требуется учёт основных элементов фильтрационного потока. Расчётные размеры области фильтрации могут корректироваться по данным режимных наблюдений, поскольку влияние дополнительных источников восполнения запасов подземных вод может приводить к существенному ограничению депрессионной воронки. Таким образом, интерпретация результатов режимных наблюдений в процессе эксплуатации месторождения позволяет уточнять граничные условия расчётных схем даже в случае скрытого влияния неучтённых факторов формирования запасов подземных вод.

На завершающем этапе отработки месторождения описание гидродинамической модели должно включать

восточное рудное тело с расположенными в нем подземными горными выработками, выполняющими роль дополнительного источника возмущения фильтрационного потока. В этом случае ожидается некоторое сокращение водопритоков на западном участке за счёт совместного дренирующего эффекта системы подземных горных выработок

Прогнозные расчёты водопритоков на последовательных этапах отработки месторождения выполняют роль разведочного моделирования (в аналитической, численно-аналитической или численной постановке), позволяя непрерывно уточнять используемые расчётные схемы для повышения надёжности прогнозов водопритоков за счёт наиболее полного учёта исходных данных, получаемых при развитии фронта горных работ.

Литература

1. Дроздов А. В. Горно-геологические особенности глубоких горизонтов трубки Удачной // ГИАБ. 2011. №3.
2. Алексеев С. В. Криогидрогеологические системы Якутской алмазоносной провинции. – Новосибирск: Изд-во Гео, 2009. – 314 с.
3. Кузванов К.И., Савичев О.Г., Решетько М.В. Математическое моделирование процессов в компонентах природы; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 144 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ТОМСКОГО ПОДЗЕМНОГО ВОДОЗАБОРА

А.В. Карманова

Научный руководитель профессор В.К. Попов

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия**

Томский подземный водозабор эксплуатирует подземные воды месторождения, открытого в междуречье р. Оби и р. Томи сотрудниками кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Рассказовым Н.М. и Удодовым П.А. в 1963 г [3]. Вода в Томи была настолько загрязнена промышленными и хозяйственными-бытовыми отходами, что существовавший метод очистки не позволял освободить ее от всех ядовитых примесей [1]. Глубоко залегающие подземные воды подвержены наименьшему техногенному загрязнению. Однако их использование требует больших затрат на строительство инженерных сооружений, связанных с водоподготовкой. Химический состав таких вод характеризуется повышенной минерализацией и, для территории Томской области, повышенным содержанием железа. Данный металл занимает особое место среди природных примесей, содержащих в подземных водах, и роль его во многих природных геохимических процессах велика. Поэтому на большинстве станций образуется огромное количество железосодержащего осадка. С такой проблемой столкнулся с начала эксплуатации Томский подземный водозабор.

Водоподготовка на подземном водозаборе осуществляется следующим образом:

1. Подземная вода поступает в аэраторы, где содержащееся в воде двухвалентное железо окисляется до трехвалентного. В процессе аэрации из воды также удаляются растворенные в ней газы.
2. Затем вода поступает на скорые фильтры, где происходит очистка от механических примесей. После фильтрации вода скапливается в резервуарах чистой воды, где группой агрегатов насосной станции перекачивается в дополнительные резервуары, при этом происходит ее обеззараживание гипохлоритом натрия [2]. Этот реагент безопаснее, чем жидкий хлор, который использовался до декабря 2011 г.
3. Повысительными агрегатами насосных станций вода подается к конечным потребителям.

Автором были отобраны пробы подземной воды поступающей на станцию водоподготовки, из системы повторного использования и воду после фильтров. Система повторного использования предназначается для приема воды после промывки скорых фильтров с большим количеством взвешенных частиц (более 300 мг/л), отстаивания промывной воды в течение времени необходимого для выпадения взвешенных частиц в осадок, и снижении мутности до концентрации 10 мг/л [4]. После этого промывную воду подают в голову очистных сооружений, а осадок откачивают на иловые поля.

Исследование химического состава подземных вод выполнялось в аккредитованной лаборатории научно-образовательного центра «Вода» Томского политехнического университета (табл.1).

Полученные результаты свидетельствуют о превышении содержания железа и кремния в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.4.1074-01. Все остальные показатели находятся в пределах нормы. В процессе водоподготовки повышается pH, увеличивается содержания хлора, гидрокарбоната и нитратов, но при этом наблюдается снижение большинства показателей.

Также были получены результаты по редкоземельным элементам в подземной воде. Из чего можно сделать вывод, что водоподготовка дает положительные результаты по таким элементам, как гадолиний, диспрозий и эрбий таблица 2. Рост концентрации редкоземельных элементов в системе повторного использования связан с отстаиванием воды в течение время, вследствие чего происходит накопление данных элементов.