УДК 551.49

**Ф.Г.АТРОЩЕНКО, Р.А.ФИЛИН**
*Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии РАН*

# ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АЛМАЗОВ ЯКУТИИ

Основные гидрогеологические проблемы при разработке месторождений алмазов в Якутии связаны с необходимостью утилизации больших объемов дренажных рассолов из карьера и сточных соленых вод с обогатительной фабрики. Предложена технология захоронения этих растворов в толщу многолетнемерзлых пород. Обсуждаются результаты полевых экспериментов и анализируются процессы, сопровождающие распространение соленых вод в зоне многолетней мерзлоты.

The main hydrogeological problems that arise as a result of diamond deposit exploitation in Yakutia concern the necessity of drainage brines high volume disposal from a quarry and saline sewage water from a concentrating mill. There has been suggested waste water burial practice with the use of the permafrost section. The paper discusses field experiments results and analyses the processes related to saline water spread in the permafrost zone.

Отработка алмазоносных месторождений сопряжена с неизбежным и заранее предполагаемым техногенным воздействием на окружающую среду. В результате дренажа сильно минерализованных вод (рассолов) на территории месторождения образуется несколько крупных потенциально опасных источников загрязнения окружающей среды: карьер, хвостохранилища, маневровые емкости обогатительных фабрик и отвалы соленасыщенных горных пород. При этом карьер, как правило, является основным поставщиком загрязнителей – от слабосоленых вод до крепких рассолов, содержащих высокие концентрации токсичных компонентов типа бром, бор, йод, стронций и др. Но если на месторождении трубки «Удачная» проблема захоронения крепких рассолов на данном этапе решена, то слабосоленые воды, концентрации ряда элементов в которых превышают ПДК в десятки раз, для комбината в настоящее время стали более актуальной проблемой, чем захоронение дренажных рассолов: притоки подземных рассолов (минерализация свыше 300 г/л) на сегодня составляют порядка 700 тыс.м$^3$ в год, а объемы слабоминерализованных вод, которые необходимо ежегодно сбрасывать, составляют уже более 3 млн.м$^3$ в год.

В условиях ограниченных возможностей утилизации больших объемов сточных вод воздействие на экологическое состояние природных сред в процессе отработки будет здесь все время возрастать. Поэтому срочно требуется разработка кардинальных и эффективных мероприятий по устранению или снижению такого влияния. Наиболее перспективным (в экологическом и экономическом отношениях) является отработанный на Удачнинском ГОКе способ захоронения крепких рассолов в ММП. Подаваемые в трещиновато-пористые ММП рассолы постепенно растворяют (растапливают и выщелачивают) ледовый заполнитель трещин, первоначально перемещаются почти исключительно по потенциально наиболее проводящим трещинам в пределах относительно хорошо фильтрующих слоев или зон, вскрытых рассолоподающими выработками. В дальнейшем, по мере развития плановых размеров ореола рассолов, все большую роль начинает играть субвертикальное нисходящее перетекание, дополнительно стимулируемое плотностной конвекцией. Поэтому данный процесс, при постоянном сбросе рассолов, может продолжаться практически бесконечно, ибо в конечном итоге сбрасываемые рассолы достигнут осушаемого гори-

зонта, и процесс захоронения превратится в обратную закачку, т.е. будет создана цикличная система типа «сброс – возврат».

При искусственном и длительном прекращении подпитки захороняемых рассолов процессы гравитационной дифференциации с оттоком более минерализованных рассолов в нижние слои приведут к постепенному падению концентрации до значений, равновесных с температурой массива, после чего сравнительно разбавленные рассолы (минерализация 50-80 г/л) законсервируются внутри слоя.

В случае закачки соленых вод с минерализацией менее 50-80 г/л в процессе фильтрации по льдонасыщенным слоям ММП они будут (за счет вымораживания и диффузии солей из пористой матрицы) стремиться к достижению равновесной по отношению к температуре массива минерализации, и (разрез ММП в исследуемом районе представлен рядом чередующихся хорошо- и слабопроницаемых слоев) процесс распространения закачиваемых вод будет преимущественно плановым. При этом скорость распространения их, по мере удаления от точки сброса, будет постепенно замедляться, а процессы вымораживания на фронте распространения происходить более интенсивно. Через определенное время проводящие слои на флангах перемерзнут и законсервированный в них равновесный рассол окажется под криогенным давлением. Короче говоря, при равных условиях сброса крепких рассолов и слабосоленых вод в ММП радиус распространения последних окажется существенно меньшим, т.е. при закачке слабосоленых вод в верхние слои ММП экологическая безопасность данного способа захоронения будет выше, чем для рассолов. Но с другой стороны, процесс захоронения будет все время прерывистым (цикличным) и длительность каждого цикла окажется определяющей для объемов закачки и в целом для разработки технологии захоронения слабоминерализованных стоков.

С целью изучения возможностей и процесса захоронения слабоминерализованных сточных вод в массив ММП в период с 1994 по 2002 гг. была проведена серия экспериментов по закачке этих вод на опытном полигоне в пределах месторождения трубки «Удачная» в режиме налива (нагнетания) с последующим замораживанием закачанных вод в массиве ММП, а затем возобновлением процесса закачки. Все эксперименты по закачке осуществлялись путем налива (нагнетания) сточных вод в центральную скважину и проведения наблюдений за колебаниями температуры, минерализации и уровней воды как в центральной, так и наблюдательных скважинах, расположенных на расстояниях 25 и 50 м от центральной. Эксперименты по закачке длились от нескольких часов до 12 суток. При этом в зависимости от начальных условий проведения эксперимента (температуры стоков, начальной приемистости скважины и др.) дебит налива колебался от 2 до 40 $м^3$/ч. Учитывая, что начальная приемистость скважин зависит преимущественно от раскрытости трещин и степени заполненности их льдом, до начала налива (нагнетания) слабосоленых вод опытные скважины проливались крепкими рассолами, а затем они выстаивались в течение двух, трех и более суток. Обе операции преследовали одну цель: растворение ледового заполнителя трещин и, тем самым, снижение гидравлического сопротивления массива ММП при закачке стоков.

Отметим важность выстойки скважин после пролива их рассолами. Во-первых, при закачке рассолов в процессе растворения ледового заполнителя в трещинах происходит резкое снижение температуры (в лабораторных экспериментах с природными рассолами снижение температуры достигало –20 °С), поэтому при закачке слабосоленых вод до восстановления в проработанных трещинах температуры массива (–3 °С) при малых начальных дебитах закачки (до 20 $м^3$/ч) происходило быстрое промораживание стоков на фронте их распространения, что вызывало быстрое падение начального расхода и длительности эксперимента. Во-вторых, в период выстойки происходит дополнительное растепление массива ММП на всем опытном участке за счет эффекта всасывания скважинами теплого воздуха. Последнее связано с созданием резкого пере-

пада температур в ММП (после закачки рассолов) и атмосфере.

Анализируя опытные данные наливов слабоминерализованных вод в ММП на экспериментальном кусте скважин, проводимых в режиме «налив – замораживание», необходимо отметить ряд важных факторов, влияющих на длительность и объемы закачки. Во-первых, расход закачки слабоминерализованных вод всегда оказывался меньше расхода рассолов, наливаемых в эту же скважину. Однако было замечено, что при увеличении объемов пролива скважин рассолами с 3 до 100 $м^3$ расход слабоминерализованных вод вырос с 2 до 40 $м^3$/ч. При этом заметное увеличение расхода (до 30 $м^3$/ч) происходило при проливе скважины 25-50 $м^3$ рассолов. Во-вторых, падение расхода закачиваемых вод в скважине (зафиксированные значения скорости падения дебита налива составили 0,07 $м^3$/ч) зависело не столько от процессов их вымораживания, сколько от условий проведения опыта: начального давления нагнетания и вязкости захороняемых вод, зависящей при хорошо промытой скважине от их начальной температуры и минерализации. Исходя из этого, при начальных расходах закачки теплых слабосоленых вод в летнее время порядка 30-40 $м^3$/ч, ее длительность (до падения расходов примерно в два раза от начального) составит не менее 3 мес. А значит, объем закачанных стоков через одну скважину составит не менее 80 тыс.$м^3$.

Приведенные цифры следует рассматривать как нижний предел возможных объемов захоронения слабосоленых вод за один цикл закачки через скважину. Опытные наблюдения за процессом захоронения разбавленных рассолов (минерализация 30-40 г/л) через накопитель (после длительной предварительной проработки трещинного пространства от ледового заполнителя) показали, что объемы закачки достигали 260 тыс.$м^3$ за месяц, при этом остановка процесса закачки была обусловлена только отсутствием необходимых объемов соответствующих вод. Впрочем, вышеуказанные соображения ориентируются лишь на ограниченный опытный материал и будут считаться относительно надежными только после проведения опытно-эксплуатационных работ (при одновременной закачке через 5-10 скважин) на опытном полигоне.