

*На правах рукописи*



**Апанасенко Дмитрий Сергеевич**

**ФОРМИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА  
ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ  
ПРИАМУРЬЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ И В  
ПРОЦЕССЕ ИХ РАЗРАБОТКИ (НА ПРИМЕРЕ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПИОНЕР И АЛБЫН)**

Специальность 25.00.07 – гидрогеология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

**Москва – 2013**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте водных проблем РАН (ИВП РАН) и Гидрогеологической и геоэкологической компании ЗАО «ГИДЭК»

**Научный руководитель:** доктор геолого-минералогических наук,  
профессор **Зекцер Игорь Семенович**

**Научный консультант:** доктор геолого-минералогических наук,  
профессор **Боревский Борис Владимирович**

**Официальные оппоненты:** доктор геолого-минералогических наук,  
профессор МГРИ-РГГРУ,  
**Черепанский Михаил Михайлович,**  
  
кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник геологического  
факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра  
гидрогеологии  
**Потапова Евгения Юрьевна.**

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН)

Защита диссертации состоится 03 октября 2013г. в 17 часов в ауд. 4-73 на заседании диссертационного совета Д 212.121.01 при Российском государственном геологоразведочном университете по адресу: 117997, г.Москва, ГСП-7, ул. Миклухо-Маклая, д.23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 117997, г.Москва, ГСП-7, ул. Миклухо-Маклая, д.23, Российский государственный геологоразведочный университет, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.121.01.

Автореферат разослан 30 августа 2013г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат геолого-минералогических наук, доцент



О.Е. Вязкова

**Актуальность проблемы.** Эксплуатация месторождений твердых полезных ископаемых, как правило, сопровождается значительными нарушениями естественной гидрогеологической обстановки, в том числе условий формирования ресурсов подземных вод, связанными, прежде всего, с появлением таких мощных очагов разгрузки подземных вод, как действующие дренажные системы карьеров. Таким образом, разработка месторождений открытым способом способствует истощению запасов подземных вод, особенно если речь идет о территории развития многолетней мерзлоты, характеризующейся дефицитом водных ресурсов. Формирование водного режима и естественных ресурсов подземных вод на таких территориях происходит в специфических условиях развития мерзлых пород, перемерзания большинства рек зимой и образования в долинах наледей.

Отбираемые водопонизительными системами дренажные воды формируются преимущественно за счет инверсии разгрузки подземных вод и притяжения поверхностных вод. В условиях такой коренной перестройки баланса подземных вод на участках разработки карьеров выполнение расчетов прогнозов водопритоков наиболее достоверно может быть реализовано лишь на специально обоснованных гидрогеологических моделях формирования подземных вод в естественных условиях и при разработке месторождений.

В настоящее время проблемы достоверности гидрогеологического прогнозирования на участках разработки месторождений твердых полезных ископаемых стоят достаточно остро при обосновании схем отработки карьеров. Методика решения прогнозных задач разработана достаточно детально, основные трудности при выполнении которых возникают обычно на этапе обоснования геофильтрационных схем (схематизация структуры потока и граничных условий, выбор расчетных параметров). Причины неоправдавшихся прогнозов чаще всего кроются в недостаточной информационной обеспеченности и, как следствие, несоответствии принятой расчетной схемы природной обстановке.

Критерием достоверности гидрогеологического прогноза является соответствие прогнозных водопритоков, полученных до начала разработки месторождения фактическим, которые формируются в процессе различных этапов отработки месторождения. Для выполнения такого сопоставления необходимы данные мониторинга за изменением гидрогеологических условий в процессе всего периода отработки месторождения полезного ископаемого.

**Цель и задачи исследований.** Изучение изменений формирования ресурсов подземных вод в процессе разработки золоторудных месторождений (на базе специально

разработанной геофильтрационной численной математической модели), а также обоснование наиболее рационального варианта водопонижения на карьерах и возможного последующего использования дренажных вод, на примере золоторудных месторождений Пионер и Албын, расположенных в Амурской области.

Золоторудные месторождения Пионер и Албын были выбраны в связи с тем, что оба они находятся в типовых, для Амурской области, гидрогеологических условиях и имеют близкую схему отработки карьеров. Кроме того, месторождение Пионер находится в процессе разработки, а Албын – в процессе разведки. То есть для месторождения Пионер можно провести сопоставление данных о фактических водопритоках с прогнозными величинами и оценить степень достоверности прогнозных расчетов. Учет выявленные при этом факторов, определяющих формирование водопритоков, позволит повысить достоверность прогнозных оценок работы дренажной системы на золоторудном месторождении Албын.

Для реализации поставленной цели решены следующие задачи:

1. Исследование условий формирования ресурсов подземных вод на типовых месторождениях гидрогеологических массивов Приамурья - Пионер и Албын.
2. Исследование формирования техногенного баланса подземных вод гидрогеологических массивов Приамурья в процессе разработки месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом.
3. Обоснование достоверности моделей формирования ресурсов подземных вод при сопоставлении прогнозных водопритоков и баланса подземных вод на участках золоторудных месторождений по данным их разведки и разработки и выявление основных причин расхождений.

**Объект и методика исследований.** Объектом исследований являются два золоторудных месторождения Приамурья:

- Пионер, которое разрабатывается в настоящее время;
- Албын, на котором ведутся разведочные работы.

Кроме того изучен опыт гидрогеологических исследований, выполненных на разных этапах разведки и освоения золоторудных месторождений Покровка, Бамское, Наталка, Дегдекан и др.

Методика исследований включала:

1. Обработку и анализ существующих материалов по рассматриваемым объектам (в том числе и по Покровскому золоторудному месторождению – объекту-аналогу месторождения «Пионер»);
2. Проведение различного вида полевых и камеральных работ;

3. Разработку математических моделей;
4. Решение балансовых и гидродинамических прогнозных и имитационных задач;

**Научная новизна** проведенных исследований заключается в следующем:

1. Выявлены основные факторы, влияющие на формирование ресурсов подземных вод и их изменение в процессе разработки золоторудных месторождений Пионер и Албын и величину прогнозных водопритоков в карьеры месторождений.
2. Оценена роль техногенного питания в балансе подземных вод для гидрогеологических условий Приамурья (на примере карьера №6 золоторудного месторождения Пионер).
3. Обоснована эффективность опережающего законтурного скважинного дренажа на золоторудных месторождениях Приамурья, заключающаяся в сокращении подземных водопритоков в карьеры, с одной стороны, а с другой стороны в возможности использования откачиваемых подземных вод для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения без предварительной водоподготовки.

**Защищаемые положения:**

1. Закономерности формирования естественных ресурсов подземных вод в гидрогеологических массивах Приамурья определяются следующими факторами:

- условиями инфильтрационного питания (атмосферные осадки, наличие зон многолетнемерзлых пород, строение зоны аэрации);
- строением фильтрационной среды (глубина развития зоны активной трещиноватости, неравномерность развития трещиноватости)

В условиях разработки карьеров золоторудных месторождений формирование ресурсов подземных вод в нарушенных условиях определяется соотношением естественных и техногенных условий разгрузки подземных вод (параметры горных выработок, скорость развития фронта и глубины горных выработок, величина водоотлива)

2. Балансовая структура дренажных вод на золоторудных месторождениях Приамурья формируется за счет инверсии разгрузки подземных вод (реки, наледи, родники) и привлечения питания подземных вод из рек и техногенного питания (нагорные каналы, отвалы, возвратные воды и т.д.). Для месторождения Пионер: инверсия разгрузки в реку - 95%, питание из рек - 5%).

3. Сопоставление результатов прогнозных расчетов, выполненных по данным геологических исследований и по данным разработки показывает, что прогноз,

выполненный по результатам разведки необходимо постоянно корректировать на различных стадиях эксплуатации месторождения с помощью оперативной геофильтрационной модели, что повысит достоверность прогнозов водопонижения и его влияния на окружающую среду.

**Практическая значимость.** Обоснованная по результатам моделирования схема водопонижения на золоторудных месторождениях Пионер и Албын и, использованные при её разработке, принципы и приемы могут быть применены для прогноза водопритоков и осушения месторождений на других золоторудных территориях со сходными геолого-гидрогеологическими условиями. Кроме того соответствующие разделы были использованы в отчетах по оценке запасов золота и при проектировании.

Основные положения работы нашли свое применение в производственной деятельности ЗАО «ГИДЭК» при проведении работ и составлении отчетов по темам «Гидрогеологическое обоснование разработки золоторудного месторождения Пионер» и «Гидрогеологические условия Албынского золоторудного месторождения».

**Апробация работы и публикации.** Результаты исследований докладывались на шести конференциях: Третья международная научная конференция молодых ученых и талантливых студентов "Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность» (Москва, 2009), Четвертая международная научная конференция молодых ученых и талантливых студентов "Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность» (Москва, 2010), VI Всероссийская конференция «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» (Москва, 2010), Международная научно-практическая конференция «Питьевые подземные воды. Изучение, использование и информационные технологии» (Московская область, п. Зеленый, 2011), VII Всероссийская конференция «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» (Москва, 2011), Всероссийское совещание по подземным водам Востока России (XX Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока) (Иркутск, 2012). Основные положения работы изложены в восьми публикациях, в том числе в двух статьях, в изданиях, рекомендованных ВАК.

**Личный вклад.** Автором диссертационной работы на основании интерпретации и анализа собранной фактической информации были уточнены, дополнены и вновь откалиброваны разработанные ранее специалистами ЗАО «ГИДЭК» (Олиферовой О.А. и Ершовым Г.Е.) пространственно-временные математические модели золоторудных месторождений Пионер и Албын. Для оценки влияния погрешности в исходных гидрогеологических данных на водопритоки подземных вод в карьеры месторождений, автором работы было проведено имитационное моделирование. На основе решения серии

балансовых гидродинамических задач установлены основные особенности изменения условий формирования ресурсов подземных вод за счет разработки золоторудных месторождений Приамурья.

Следует отметить, что автор работы принимал непосредственное участие в комплексе полевых исследований, проводимых на золоторудных месторождениях Пионер и Албын в Амурской области.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 108 страницах, содержит 33 рисунка, 14 таблиц. Список использованной литературы включает 95 наименований.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю профессору, д.г.-м.н. И.С. Зекцеру и научному консультанту профессору, д.г.-м.н. Б.В. Боревскому за неоценимую научную помощь, моральную поддержку и содействие в подготовке и написании работы. Особо признателен автор главному научному сотруднику ЗАО «ГИДЭК», к.г.-м.н. О.А. Олиферовой за ценные советы и научные консультации при написании работы. Автор искренне благодарен всем сотрудникам ЗАО «ГИДЭК» и лаборатории региональных гидрогеологических проблем ИВП РАН за помощь, внимание, советы и доброжелательность, а также преподавателям кафедры гидрогеологии геологического факультета МГУ за азы знаний, полученные там во время обучения. Считаю своим долгом поблагодарить родителей Апанасенко С.В. и Апанасенко Т.Н. за мотивацию, наставничество, правильность выбора жизненных целей и позиций и помощь в выборе профессиональной деятельности.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### **1. Современное состояние исследований по гидрогеологическому обоснованию разработки золоторудных месторождений Приамурья.**

В настоящее время, в связи с истощением запасов россыпного золота, достаточно интенсивно осуществляется освоение рудных месторождений. Одним из регионов, где изучено и уже разрабатывается большое количество золоторудных месторождений является Амурская область.

Месторождения рудного (жильного) золота обычно приурочены к водораздельным частям хребтов и предгорным впадинам, где образуются мощные зоны разломов, к которым тяготеют интрузивные и эффузивные породы. Дайки и зоны разломов представляют собой каналы, по которым из недр земли поступают рудоносные растворы, и в результате, при определенной концентрации золота, могут образовать месторождение. Для золоторудных месторождений Приамурья материнскими горными породами являются главным образом граниты.

Технико-экономическая эффективность добычи полезных ископаемых главным образом зависит от гидрогеологических условий и насколько правильно они учтены при проектировании и эксплуатации горного предприятия. Наиболее крупные и ответственные гидрогеологические исследования связаны прежде всего с обоснованием рациональных систем осушения месторождений полезных ископаемых, так как затраты на осушение могут достигать до 10-15% от себестоимости добычи руды.

*Основы методики обоснования рациональных систем осушения* разработаны С.К.Абрамовым, О.Б.Скиргелло, А.С.Белицким, С.В.Троянским, А.И.Чекиным и др.

Многочисленные труды В.А.Мироненко, В.М.Шестакова, И.Е.Жернова, И.К.Гавич, Ф.П. Стрельского, И.Б.Петровой, В.В.Антонова, Е.А.Ломакина, В.Д. Бабушкина, Г.Н. Кашковского, И.И. Плотникова и др. посвящены развитию теории и методики гидродинамических расчетов для оценки водопритоков в горные выработки (в т.ч. численного математического моделирования).

Проблемы изучения загрязнения и охрана подземных вод в горнодобывающих районах отражены в работах В.А. Мироненко, Румынина, В.К. Учаева. Вопросам изучения и прогноза техногенного режима подземных вод на участках добычи твердых полезных ископаемых посвящены работы Ю.А. Норватова.

Изучению формирования ресурсов подземных вод в областях развития многолетней мерзлоты посвящены работы Н.И. Толстихина, О.Н. Толстихина, Н.Н. Романовского и др.

Вопросы прогноза водопритоков в систему горных выработок и производительности водопонижительных систем, заложенных в массивах трещиноватых пород, являются наиболее сложными и до сих пор недостаточно разработаны. Для условий Приамурья это связано, с одной стороны, со сложностью гидрогеологических и геокриологических условий территории, а с другой стороны, с низкой степенью информативности гидрогеологических данных, получаемых при разведке основного полезного ископаемого.

**Закономерности формирования ресурсов подземных вод** в районах расположения золоторудных месторождений Приамурья определяются строением фильтрационной среды, мерзлотными условиями и распределением инфильтрационного питания.

В Амурской области золоторудные месторождения приурочены к узлам пересечения тектонических зон разломов в Туранском, Джагдинском, Центральном-Становом, Малханском и Центральном-Алданском гидрогеологических массивах. Гидрогеологические массивы представлены, в основном, коренными горными породами (граниты и отложения Архея – Протерозоя) которые выходят на дневную поверхность. Наиболее проницаемые фрагменты разреза приурочены к зонам сочленения блоков, различающихся по степени трещиноватости коренных пород в которых локализованы основные ресурсы подземных вод. В разрезе гидрогеологических массивов выделяются:

- водоносный таликовый комплекс в четвертичных (покровных) отложениях;
- водоносные зоны трещиноватости в разновозрастных метаморфических, эффузивных, интенсивно литифицированных осадочных и интрузивных породах.

Покровные отложения (дресвяные, гравийные, глыбовые образования с песчаным и супесчаным заполнителем), к которым приурочен таликовый водоносный комплекс, содержащий порово-пластовые воды, распространен практически повсеместно. Максимальная мощность наблюдается, как правило, в долинах наиболее крупных рек и достигает 10-15 м.

Коренные породы, с развитой по ним трещиноватостью, распространены повсеместно. Система трещиноватости определяется тектоническими условиями. Наиболее древние и глубинные – разрывы северо-западного простирания. Разломы северо-восточного простирания имеют подчиненное значение. Кроме того, широко развиты субширотные тектонические нарушения. В гидрогеологическом разрезе зоны трещиноватости выделяются три зоны, формирующие гидравлически единую систему:

- зона экзогенной трещиноватости (кора выветривания) дезинтегрированных пород, измененных иногда до состояния дресвы и щебня с мелкозернистым заполнителем;

- зона тектонической трещиноватости, проводящая подземный сток под зонами распространения многолетнемерзлых пород и дренирующая верхний экзогенный “этаж” гидрогеологического разреза;
- зона региональных разломов, имеющих различное простирание и разбивающая кристаллический фундамент на монолитные блоки.

Геокриологические условия рассматриваемой территории подчиняются широтно-зональным и высотно-поясным закономерностям. Наиболее суровыми геокриологическими условиями характеризуется северная часть Верхнего Приамурья (в районе Станового хребта). Мощность многолетне-мерзлых пород (ММП) составляет 300-500 м., иногда более. Талики имеют весьма ограниченное распространение и приурочены, как правило, к зонам тектонических нарушений.

В пределах низкогорного рельефа (Туранский массив) с севера на юг развита массивно-островная, островная и редкоостровная мерзлота. В таком же направлении происходит уменьшение мощности ММП от 100 до 50 м и менее. В связи с особенностями мерзлотно-гидрогеологических условий циркуляция подземных вод между водоносными зонами трещиноватости коренных отложений с поверхностными водотоками происходит в пределах развития пойменных таликов.

Южнее преобладает островное залегание многолетнемерзлых пород неоген-четвертичных отложений и разновозрастных скальных образований. Для этой территории характерно сезонное промерзание (оттаивание) грунтов.

Согласно схеме формирования потоков подземных вод в гидрогеологических массивах Амурской области, разработанной В.В. Сидоркиным, основным источником питания подземных вод в рассматриваемой ситуации являются атмосферные осадки, инфильтрующиеся на склонах и водораздельных пространствах в водоносные зоны трещиноватости коренных пород. Транзит подземных вод осуществляется по зонам экзогенной и тектонической трещиноватости, в соответствии с рельефом местности (от водоразделов к тальвегам долин) и проводящей способностью трещин. Стекая с водоразделов по проводящим зонам, потоки подземных вод дифференцируются между частными водосборами. Внутри каждого частного водосбора выделяются локальные микробассейны подземного стока, приуроченные к наиболее проницаемым тектоническим зонам и контролируемые этими зонами. Между такими бассейнами далее и перераспределяются ресурсы подземных вод. Внутреннее строение микробассейнов крайне неоднородно, в них могут быть выделены:

- основная дрена – линейная зона трещиноватости, контролируемая, как правило, наиболее глубоко заложённым и хорошо проводящим разломом, по которой

- основную часть подземного стока выводится в русла водотоков,
- область дренажа, сформированная опережающими зону разлома тектоническими трещинами и экзогенной трещиноватостью.

Основным показателем величины ресурсов, локализованных в том или ином микробассейне, являются расходы разгрузки подземных вод, которые составляют значительную часть ресурсов. Очаги разгрузки индивидуальны для каждого микробассейна, разгрузка может осуществляться как субаквально, так и субаэрально (в виде родников). В зимнее время очаги разгрузки, как правило, маркированы наледями.

Трещиноватые образования (вулканогенные, интрузивные и осадочные) характеризуются крайне невыдержанными фильтрационными свойствами, связанными с неравномерностью развития экзогенной и тектонической трещиноватости, высокой изменчивостью мерзлотных условий как в плане, так и в разрезе и весьма неоднородным материалом заполнителя трещин. В связи с этим ресурсы подземных вод распределены по площади неравномерно. Их величина обычно характеризуется модулем подземного стока, как правило определяется по модулю наледообразующего стока. Как показали выполненные ранее исследования (Боревский Б.В., Сидоркин В.В.) в наледях не формируется весь подземный сток, поэтому величина модуля питания подземного стока, оцененного по модулю наледообразующего стока всегда ниже.

**Основные методы прогнозирования водопритоков** в систему горных выработок делятся на три основные группы: метод водного баланса, гидравлический метод и метод аналогии, а также гидродинамические методы

*Метод водного баланса* основан на учете всех составляющих питания и разгрузки подземных вод при работе дренажа в процессе осушения месторождений. При этом принимается, что приток подземных вод к карьеру формируется за счет динамических притоков и статических запасов, величины которых определяются величиной атмосферных осадков, площадью питания в пределах развивающейся депрессии, временем осушения, площадью разработок, периметром контура горных работ, радиусом депрессии, считая от контура разработок; коэффициентом подземного стока.

Для массивов трещиноватых пород применение балансового метода оценки водопритоков в систему горных выработок оказывается наиболее приемлемым в условиях, когда изучаемые водоносные горизонты имеют локальный характер. В других случаях прогнозы, сделанные на основе этого метода, являются весьма приближенными в связи с низкой точностью определения балансовых составляющих.

*Гидравлический метод* основан на экстраполяции опытных данных (экстраполяция на глубину, т.е. с увеличением понижения уровня или с учетом изменения площади горных выработок) с использованием гидродинамической зависимости.

*Метод гидрогеологических аналогий*, основанный на эмпирических зависимостях, близок к гидравлическому методу, но характеризуется переносом результатов с одного участка на другой с аналогичными гидрогеологическими и горнотехническими условиями проектируемого и разрабатываемого месторождений (аналогия по геологическому разрезу, условиям формирования ресурсов подземных вод, способу и системе разработки).

Оценка водопритоков в горные выработки методом аналогии разделяется на несколько приемов их определения:

- определение водопритоков по величине понижения уровня подземных вод;
- определение водопритоков по удельным дебитам и размерам горных выработок;
- определение водопритоков по коэффициенту водообильности (коэффициент водообильности - отношение количества откачанной воды к количеству добытого за тот же период полезного ископаемого).

*Гидродинамические методы* прогнозирования водопритоков в зависимости от сложности гидрогеологических условий делятся на аналитические и численное моделирование. Если в процессе геофильтрационной схематизации реальные условия могут быть приведены к типовой расчетной схеме, то прогнозные оценки выполняются аналитическими методами. При расчетах широко используется способ «большого колодца», при этом общий приток в карьер определяется с учетом расчетного радиуса выработки, расчетного радиуса влияния и понижения уровня в большом колодце.

В связи с большой неоднородностью фильтрационных свойств трещиноватых пород, метод аналитических расчетов имеет весьма ограниченное применение и в сложных гидрогеологических условиях для выполнения прогнозов водопритоков в горные выработки целесообразно применять метод моделирования.

Особенность численного моделирования отработки месторождения открытым способом состоит в учете влияния карьера в условиях, когда происходит изменение его поверхности в пространстве и времени. Моделирование карьера требует использования специального программного обеспечения, позволяющего учитывать меняющуюся поверхность, оценивать участки высачивания в бортах и надежно рассчитывать свободную поверхность непосредственно в пределах карьера, что помимо, надёжности оценки притоков в карьер, требуется для оценки устойчивости бортов карьера в геомеханических расчетах. Известно ограниченное число программ, позволяющих производить такие расчеты. Одна из наиболее полных - конечно-элементная 3-х мерная

программа фильтрации MINEDW, созданная компанией HCl (Денвер, США) для моделирования гидрогеологических условий применительно к горнорудным объектам. С использованием этой программы были оценены прогнозные водопритоки в карьеры месторождений Федорова Тундра, Дегдекан, Наталка (ЗАО «ГИДЭК», 2006-2010 гг.).

Другая программа, позволяющая достаточно надежно моделировать высачивание в карьеры и на свободную поверхность - Modflow-Surfact, разрабатываемая и поддерживаемая компанией Waterloo Hydrogeology (Онтарио, Канада). В программе предусмотрено, что моделируемая поверхность карьера задается как поверхность первого слоя модели и рассматривается как граничное условие (2-го или 3-го рода) в зависимости от уровня подземных вод, что позволяет автоматически переводит в разгрузку часть подземных вод, уровни которых поднимаются выше поверхности земли.

Для решения прогнозных задач, где наряду с прогнозной оценкой водопритоков в карьеры месторождений необходимо осуществлять балансовые расчеты (оценка утечек из хвостохранилищ, оценка ущерба подземным и поверхностным водам, определение балансовой структуры водоотбора и т.д.), широко используется стандартный расчетный модуль геофильтрации Modflow с вычислительным комплексом PMWin или Visual. Поскольку в стандартном обеспечении нет возможности задания поверхности карьеров, то количественная оценка водопритоков в карьеры может быть оценена с использованием расчетного пакета «Drain»

Существенной проблемой при моделировании нестационарного потока является задание на модели корректного воспроизведения роста карьеров. Это невозможно учесть в единой, для всех стресс-периодов, модели Modflow (в массиве IBOUND соотношение активных и неактивных блоков задается один раз для всех стресс-периодов). В этом случае применяют приближенные способы моделирования или создаются серии стационарных моделей, чтобы учесть динамику роста карьеров в каждом слое модели.

## **2. Закономерности формирования техногенного баланса подземных вод при разработке золоторудного месторождения «Пионер»**

Золоторудное месторождение «Пионер» расположено у южной границы Амурской области и приурочено к бассейну р.Улунги, правого притока р.Зеи.

Месторождение представляет собой фрагмент сложно-построенной Тыгда-Улунгинской вулcano-тектонической структуры, сложенной комплексами позднеюрских песчаников с прослоями алевролитов аякской свиты ( $J_3ak_2$ ) и кайнозойских мелкозернистых песков, алевритов и глин белогорской свиты ( $N_2-Q_1bl$ ), а также песчано-галечниковыми и глинистыми отложениями сазанковской свиты ( $N_1^{2-3}sz$ ). Эти комплексы

прорваны раннемеловыми и позднеюрскими интрузивными образованиями, соответственно, буриндинского ( $\delta\mu_4K_1b$ ), верхнеамурского ( $\delta_2K_1v$ ) и магдагачинского ( $\xi\mu\tau_3J_3m$ ) комплексов (рис.1). Месторождение «Пионер» приурочено к зоне сочленения разнонаправленных тектонических нарушений.

Гидрогеологические условия определяются преобладанием трещинно-жильных коллекторов подземных вод, частично пораженных многолетней мерзлотой. Мерзлота имеет прерывистое распространение, ее мощность достигает 50 м. "Пятна" мерзлоты приурочены, в основном, к днищам долин водотоков. На водораздельных пространствах и склонах долин разрез, как правило, не проморожен.

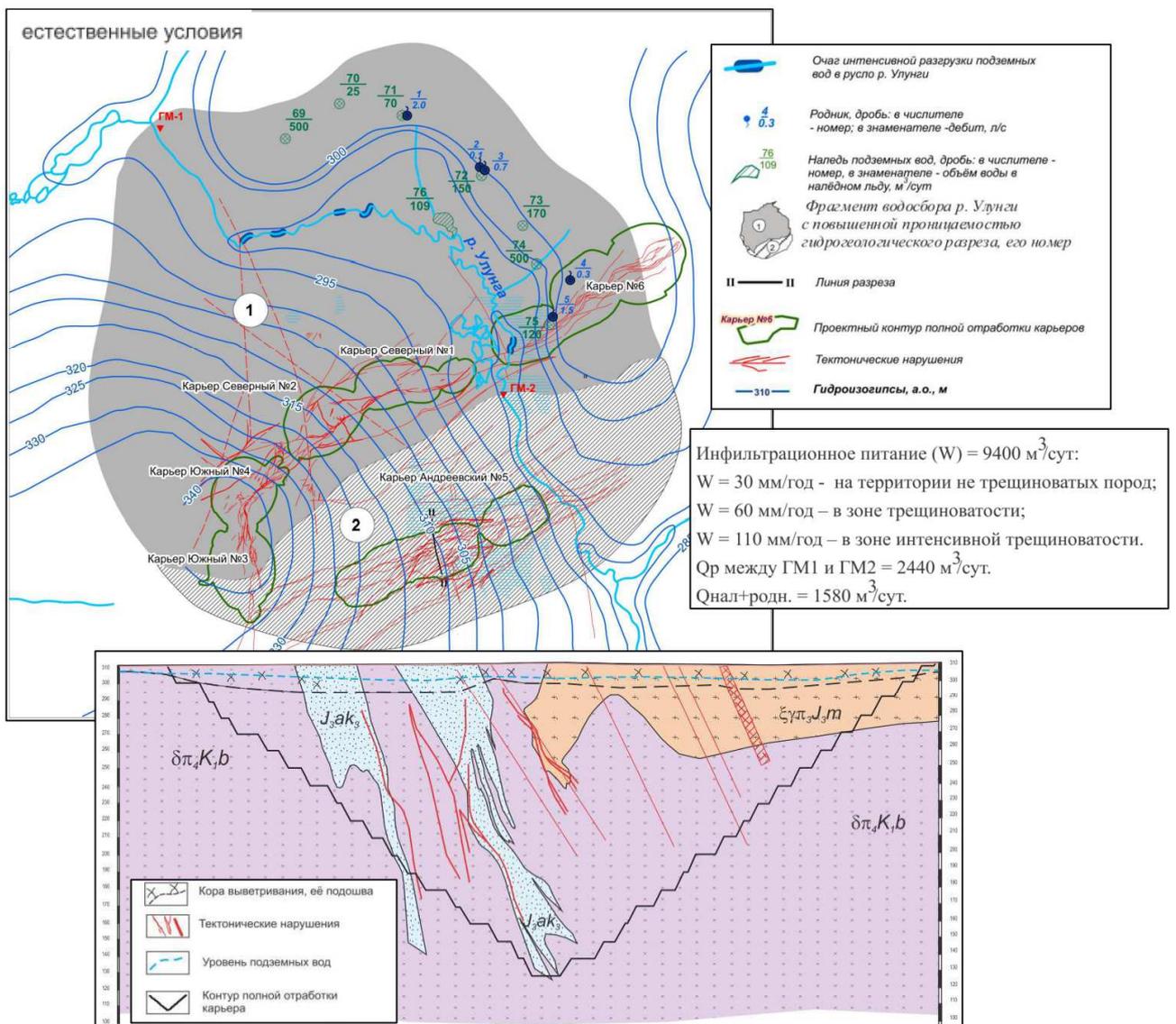


Рис.1 Схема формирования естественных ресурсов подземных вод в долине реки Улунги и гидрогеологический разрез территории золоторудного месторождения «Пионер»

Анализ полученных в процессе гидрогеологических исследований данных дал возможность определить основные закономерности строения водоносного комплекса на территории месторождения «Пионер», особенности питания, движения и разгрузки подземных вод, которые сводятся к следующему:

1. Выделенное в пределах бассейна верхнего течения р.Улунги золоторудное месторождение Пионер, включающее Пионерное и Андреевское рудные поля, характеризуется более благоприятными по сравнению с окружающей их территорией условиями для локализации ресурсов подземных вод, что обусловлено широким развитием здесь кор выветривания и дизъюнктивной тектоники (рис.1).

2. Ресурсы подземных вод в бассейне р.Улунги (формирующиеся за счет инфильтрации атмосферных осадков) локализованы в трех основных типах коллекторов:

– трещинно-пластовых с относительно низкой проницаемостью, представленные блоками слаботрещиноватых пород, а также крупными блоками интенсивно трещиноватых коренных пород, где трещины заполнены тонкодисперсным материалом;

– трещинно-жильных, имеющих относительно высокую проницаемость и приуроченных к локальным тектоническим зонам с открытой трещиноватостью;

– пластовых, приуроченных к белогорскому водоносному комплексу, представленному песчано-глинистыми отложениями и распространенному в восточной части района на водоразделе левобережья р. Улунги.

3. Основной поверхностной дреной на территории исследований является р.Улунга. Движение подземных вод происходит от водоразделов к реке, в основном, по локальным зонам высокой проводимости, о чем свидетельствует наличие обособленных очагов разгрузки подземных вод (пять таких субаквальных очагов закартированы речной геофизикой и заверены при зимнем обследовании, еще несколько родников зафиксированы зимним и летним обследованиями – рис.1).

4. Наиболее проницаемые фрагменты разреза, как показывают результаты геофизических работ, бурения и опробования скважин, приурочены к зонам сочленения блоков, различающихся по степени трещиноватости коренных пород. Одна из основных подземных дрен приурочена как непосредственно к Пионерному рудному телу, так и к разломам северо-восточного простирания, ограничивающим рудное тело с флангов. Эта зона пересекает долину реки Улунги и маркируется участком субаквальной разгрузки. Другая зона высокой проводимости приурочена к рудной зоне Андреевская (рис.1).

5. Модуль естественных ресурсов подземных вод, формирующихся на территории верхнего течения р. Улунги в области развития зоны трещиноватости с низкой проницаемостью составляет, согласно результатам гидрологических работ,  $1,0 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ .

Модуль подземного стока для зоны с относительно хорошо проницаемым разрезом в пределах Пионерного и Андреевского рудных полей -  $3.5 \text{ л/с* км}^2$  (110 мм/год).

Отработка месторождения Пионер осуществляется открытым способом шестью самостоятельными карьерами (рис.1): №1 - Северный-1, №2 - Северный-2, №3 - Южный-3, №4 - Южный-4, №5 - Андреевский и №6 – Крьер - 6. Горизонты забоя при полной отработке карьеров составят: №1- 130 м (глубина от поверхности земли 170 м), №2- 90 м (глубина 220 м), №3- 120м (глубина 230 м), №4 - 140м (глубина 200м), №5– 130м (глубина 180м), №6 – 130м (глубина 160м).

Для исследования изменения гидрогеологических условий территории золоторудного месторождения «Пионер» в процессе его эксплуатации и расчетов прогнозных водопритоков в карьеры была разработана геофильтрационная модель территории верхнего течения р. Улунги (программный комплекс VisualModflow), откалиброванная в процессе решения обратных задач, в которых воспроизводились гидрогеологические условия, соответствующие следующим периодам:

- естественные условия,
- слабонарушенные условия, соответствующие начальному этапу отработки карьеров Северный №1 и №2 с дренажной системой, состоящей из трех скважин с  $Q_{\text{сум}} = 1200 \text{ м}^3/\text{сут.}$
- нарушенные условия - промежуточный этап отработки карьеров Андреевский и Северный с дренажной системой, состоящей из 10 скважин с  $Q_{\text{сум}} = 3530 \text{ м}^3/\text{сут.}$ ,
- нарушенные условия, соответствующие промежуточному этапу отработки карьеров Андреевский и №6 с дренажной системой, состоящей из 21 скважины и внутрикарьерного водоотлива с  $Q_{\text{сум}} = 7240 \text{ м}^3/\text{сут.}$

В результате калибровки геофильтрационной модели, которая проводилась по уровням и балансу подземных вод (величины расходов родников, наледообразующих источников, подбор модуля питания подземных вод и т.д.), было получено, что в естественных условиях расчетная величина питания подземных вод в границах модели составила  $9400 \text{ м}^3/\text{сут.}$ , величины разгрузки подземных вод приведены в таблице 1.

В нарушенных условиях (какьеры Андреевский и Северный- 2010 г.) балансовая структура скважинного водоотбора и внутрикарьерного водоотлива согласно результатам моделирования (табл.1) определялась двумя главными составляющими: инверсией разгрузки подземных вод в реку Улунгу - 84% водоотбора, инверсией родникового и наледообразующего стока - 13% водоотбора.

В нарушенных условиях (карьеры Андреевский и №6 – 2011г.) балансовая структура дренажного водоотбора значительно перестроилась (табл.1): инверсия разгрузки

подземных вод в реку Улунгу составила уже 67% водоотбора, инверсия родникового и наледообразующего стока - 21%, а привлечение поверхностных вод реки Улунги – 12% водоотбора. В этот период на территории расположения карьера №6 активно срабатываются емкостные запасы белогорских отложений, что привело к формированию значительных водопритоков в чашу 3 карьера №6 при его отработке на глубину мощности белогорских отложений.

Таблица 1

Изменение баланса подземных вод при разработке золоторудного месторождения Пионер (по результатам моделирования)

№ п/п	Балансовый участок	Среднегодовая величина разгрузки, м <sup>3</sup> /сут (м <sup>3</sup> /час)						
		Естественные условия	Нарушенные условия				Прогноз при полной отработке всех карьеров	
			отработка карьеров Андреевский и Северный - 2010г.	отработка карьеров Андреевский и карьер №6 - 2011г.				
				ΔQ		ΔQ		ΔQ
<i>Разгрузка подземных вод</i>								
1	Разгрузка в реку Улунгу между створами ГМ1 и ГМ2	2440 (102)	1400 (58)	1040 (43)	380 (16)	2060 (86)	190 (8)	2250 (94)
2	Разгрузка в реку Улунгу и другие реки в пределах территории модели	5390 (225)	3450 (144)	1940 (81)	2590 (108)	2800 (117)	1750 (73)	3640 (152)
3	Разгрузка в виде родников и наледообразующих источников на левобережье р. Улунги	1580 (66)	1120 (47)	460 (19)	50 (2)	1530 (64)	40 (2)	1540 (64)
4	Суммарный водоотбор дренажных вод	0	3530 (147)		7200 (300)		7900 (329)	
5	<b>Сумма</b>	9410 (392)	9500 (396)		10220 (426)		9880 (412)	
<i>Питание подземных вод</i>								
6	Инфильтрационное питание	9410 (392)	9410 (392)		9410 (392)		9410 (392)	
7	Питание из реки Улунги между створами ГМ1 и ГМ2	0	0	0	500 (21)	500 (21)	180 (8)	180 (8)
8	Питание из реки Улунги и других рек в пределах территории модели	0	90 (4)	90 (4)	350 (15)	350 (15)	280 (12)	280 (12)
9	<b>Сумма</b>	9410 (392)	9500 (396)		10260 (428)		9870 (411)	

Таким образом, в настоящее время, в результате эксплуатации на золоторудном месторождении «Пионер» мощной водопонижительной системы произошли коренные изменения условий формирования подземных вод в долине реки Улунги, которые связаны с уменьшением разгрузки подземных вод в реки, питанием из реки, исчезновением родников и наледей находящихся в области влияния карьеров.

Прогнозное моделирование работы водопонижительной системы на этапе полной отработки карьеров месторождения показало (табл.1, рис.2), что суммарная величина

водопритоков в проектные карьеры - 7900 м<sup>3</sup>/сут (330 м<sup>3</sup>/час) и составляет две трети величины естественных ресурсов участка месторождения «Пионер», что приведет к полному перехвату всех видов разгрузки подземных вод на территории месторождения, полной сработке емкостных запасов белогорских отложений и привлечению поверхностных вод реки Улунги.

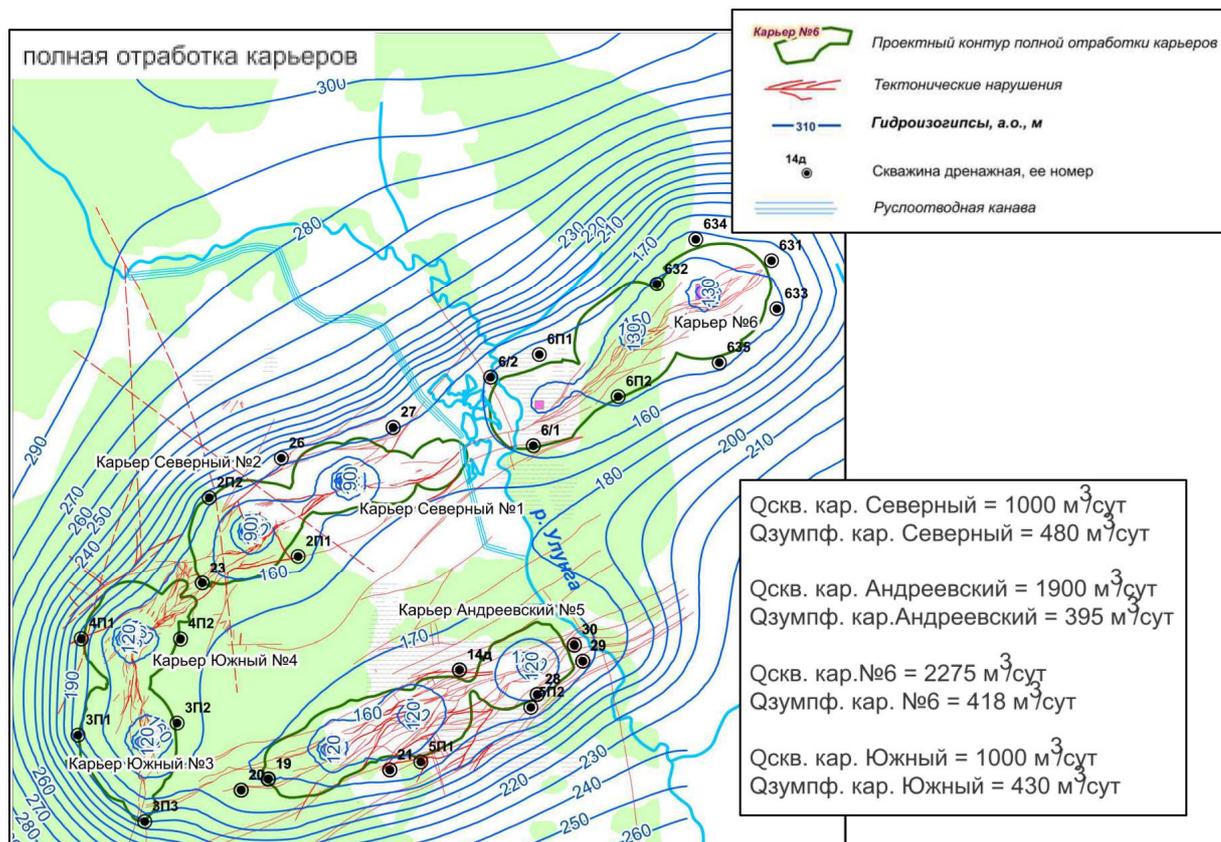


Рис.2 Результаты моделирования работы дренажной системы на территории золоторудного месторождения «Пионер» при полной отработке карьеров.

Суммарная величина водопритоков в карьеры месторождения складывается из водопритоков подземных вод и атмосферных осадков, поэтому сопоставление прогнозных и фактических водопритоков должно выполняться с учетом этих двух величин. Результаты детального повариантного моделирования, выполненного для обоснования схемы дренажной системы всех трех чаш карьера №6 золоторудного месторождения Пионер приведены на рис.3. Для сопоставления прогнозных и фактических водопритоков в карьер использовались данные мониторинга водопритоков в чашу 3 карьера №6 за

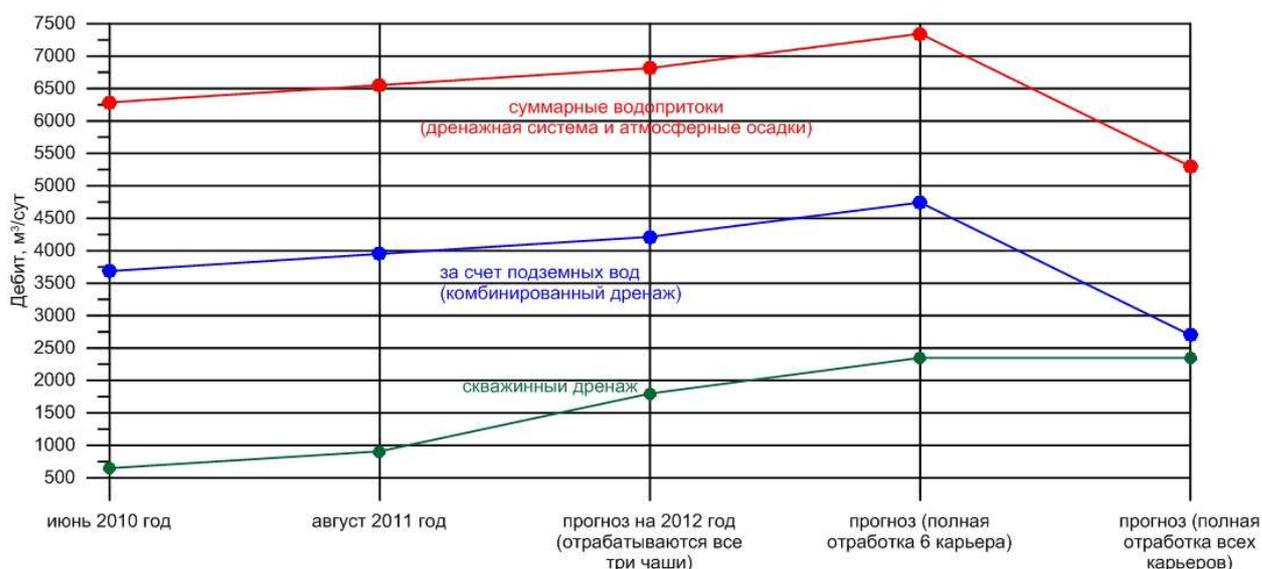


Рис.3 Динамика водопритоков в карьер № 6 при разных вариантах моделирования

август 2011 года, выполненные при отработке чаши 3. Фактические водопритоки в чашу 3 карьера № 6 составили 7.4-7.7 тыс м<sup>3</sup>/сут (табл.2), а расчетные водопритоки с учетом формируемых атмосферными осадками 2.2 тыс м<sup>3</sup>/сут (рис.3)

Таблица 2

Сопоставление фактических и расчетных величин суммарных водопритоков в чашу 3 карьера № 6 (по состоянию на 2011 г.)

	Фактический дебит, м <sup>3</sup> /сут		Расчетные водопритоки м <sup>3</sup> /сут
	(1.08.2011 - 23.08.2011)	(24.08.2011 - 31.08.2011)	
скважины	796.8	259,2	260
зумпфы	6667 – 89 %	7449 – 96 %	1940
Всего	7463.1	7708.2	2200

Такая разница в водопритоках объясняется двумя причинами:

1. Расчет водопритоков в карьер за счет поверхностных вод (атмосферные осадки) был выполнен для средней величины атмосферных осадков за теплый период многоводного года. Поскольку август месяц является одним из самых дождливых месяцев, то величина атмосферных осадков может сильно отличаться от нормы. Так максимальный приток, формирующийся за счет экстремальных (1% обеспеченности) суточных осадков на площадь чаши 3 карьера №6 может достигать 24.3 тыс м<sup>3</sup>/сут.

2. В балансе подземных вод помимо естественного питания подземных вод за счет атмосферных осадков в процессе работы дренажной системы и других объектов отработки (нагорные каналы, отвалы, водоводы и т.д.) формируется дополнительное

техногенное питание. В районе отработки чаши 3 карьера № 6 на поверхности залегает белогорский водоносный горизонт, сложенный преимущественно песками, а нагорные канавы, в которые сбрасывается вода из дренажных установок, никак не изолированы. То же относится и к отвалам, которые также не изолированы и располагаются в непосредственной близости от карьера № 6. То есть часть воды, откачиваемой дренажной системой, фактически возвращается обратно в карьер, фильтруясь через пески белогорских отложений.

Согласно результатам повариантного моделирования работы дренажной системы карьера №6 при разных схемах задания дополнительного техногенного питания, его доля в водопритоках в зумпфы составляет 7– 15 %.

### **3. Исследование формирования прогнозных водопритоков при разведке золоторудного месторождения Албын.**

Золоторудное месторождение Албын расположено на территории Селемджинского района Амурской области в правобережье р.Харга между ее правыми притоками, руч.Корейским и руч.Эльгокан.

Месторождение Албын приурочено к палеозойскому комплексу метаморфических сланцев (афанасьевская свита) и метапесчаников, метаалевролитов с подчиненными прослоями филлитизированных глинистых сланцев (талыминская свита). Этот комплекс прорван позднемеловыми дайками диоритовых порфиринов и гранит-порфиринов. Геологическое строение рудного узла осложняется серией различно ориентированных разрывных нарушений разного порядка, основной является субширотная система. Кроме того, широко представлены разрывные нарушения субмеридионального и северо-восточного направлений.

В гидрогеологическом отношении территория месторождения относится к Джагдинскому криогенному гидрогеологическому массиву Амуро-Охотской гидрогеологической складчатой области, в разрезе которого на рассматриваемой территории выделяются следующие подразделения:

- аллювиальный водоносный комплекс, сложенный песчано-гравийно-галечными, отложениями пойм и надпойменных террас, максимальная мощность которых достигает 30 м;
- сезонно-действующий элювиально-делювиальных водоносный горизонт, представленный глыбово-щебневые, валунные образования с супесчаным и суглинистым заполнителем мощностью до 4 м,
- водоносный комплекс трещинных и трещинно-жильных вод, приуроченный к верхнепалеозойским метаморфизованным сланцам, разрез которых осложнен наличием

вулканогенных образований в виде даек, образующих как субвертикальные тела, так и залегающие согласно напластованию сланцевидные толщи.

Для района месторождения Албын характерна значительная залесенность и задернованность, а также сезонное промерзание и оттаивание грунтов. Мерзлота имеет островной вялотекущий характер и приурочена к заболоченным участкам речных долин и склонам северной экспозиции. Непосредственно в руслах рек отмечаются сплошные талики, контролируемые, в том числе, достаточно крупными наледями. Мощность многолетнемерзлых пород изменяется от 0 м до 40 м и более.

Вследствие неравномерности развития трещиноватости и прерывистого распространения многолетней мерзлоты, фильтрационные свойства разреза крайне невыдержанны по площади и на глубину. Это обстоятельство определяет специфику условий формирования естественных ресурсов подземных вод. Питание трещинных и трещинно-жильных вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков на участках отсутствия многолетнемерзлых пород. Разгрузка подземных вод происходит в реки.

Согласно проектным решениям, Албынское золоторудное месторождение предполагается разрабатывать открытым способом одним карьером до максимальной абсолютной отметки 550 м (глубина – 250 м).

Для выполнения расчетов прогнозных водопритоков подземных вод в карьер методом математического моделирования с целью обоснования схемы законтурного дренажа была разработана геофильтрационная модель области формирования дренажных вод, формирующихся при отработке месторождения Албын (программа Modflow-Surfact). Калибровка модели осуществлялась путём решения обратной задачи воспроизведения естественной гидродинамической обстановки. Критериями калибровки являлись уровни подземных вод по гидрогеологическим скважинам с учётом колебаний естественного режима, характеристики подземного стока в ручей Албын, правый и левый его притоки, ручей Непташинский и др., а также средний модуль подземного стока по территории ( $3 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ ).

При решения прогнозных задач на модели задавался последовательно изменяющийся по ходу разработки рельеф карьера в соответствии с планами разработки на 3-й, 6-й и 7-й (окончательный) годы отработки. По результатам решения нестационарных прогнозных задач рассчитывалась разгрузка подземных вод на поверхность карьера на 1,30, 100, 365 и 1095 суток. Такая задача решалась для двух вариантов: для системы внутрикарьерного водоотлива и для комбинированного дренажа (10 скважин и зумпфы – рис.4).

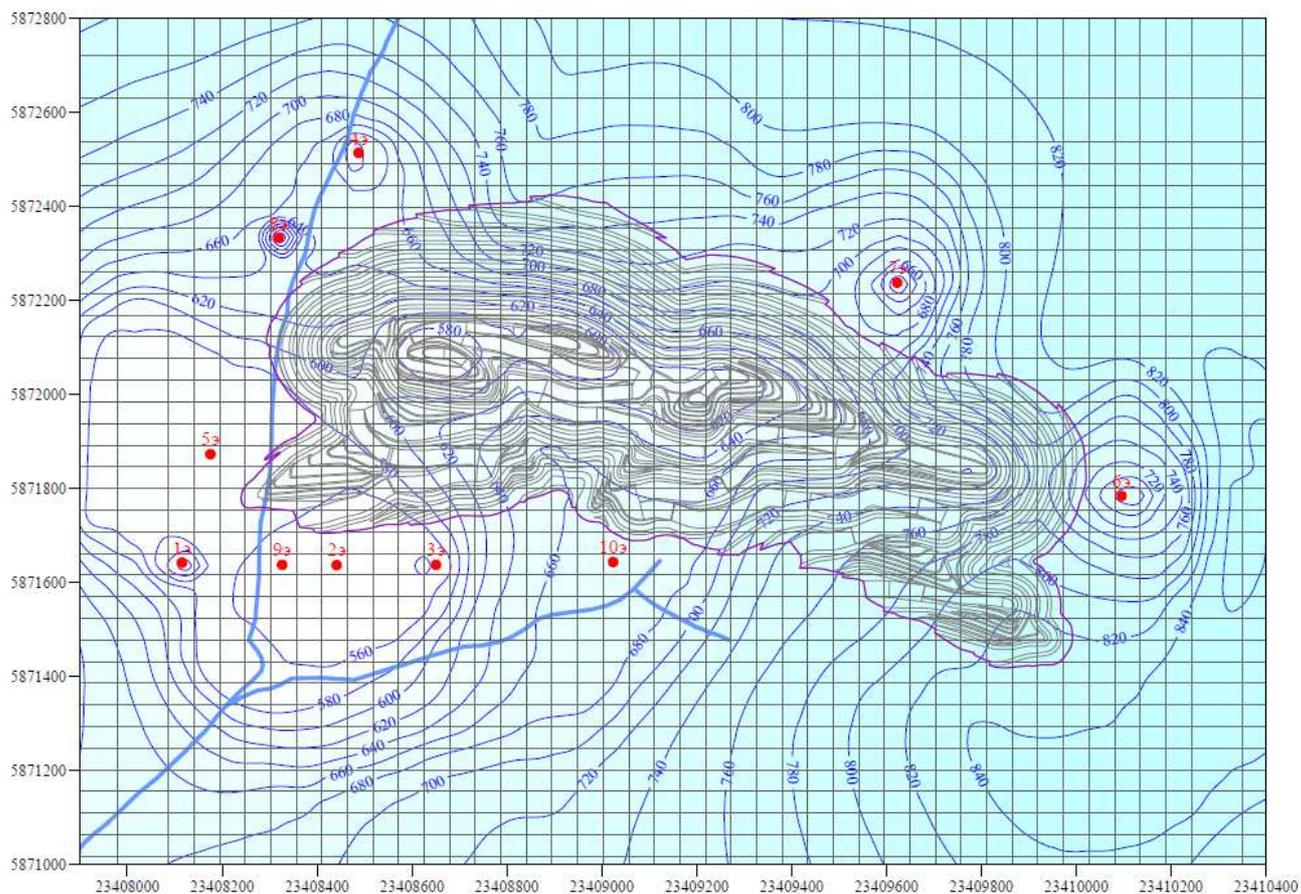


Рис.4. Карта-схема расчетного уровня на конец отработки карьера на месторождении Албын при работе вертикального дренажа.

Как показали результаты проведенного моделирования без работы скважинного дренажа, в первые 3 года отработки, водопритоки за счёт подземных вод невелики - в среднем за весь период  $15 \text{ м}^3/\text{час}$ . В период с 3-го по 6-ой год отработки средний объём расхода подземных вод в карьер возрастает до  $137 \text{ м}^3/\text{час}$ , это период максимально быстрого заглубления карьера, полного перехвата подземного стока ручьёв Левый и Правый Албын и интенсивного развития воронки депрессии. Необходимо отметить также, что почти 84% стока в карьер будет формироваться за счёт перехвата из водосбора ручья Правый Албын, а именно в западном и юго-западном бортах карьера, где расположена наиболее интенсивная зона дробления водовмещающих пород, маркированная наледями в зимний период. При вскрытии отдельных трещиноватых зон, аккумулирующих поток подземных вод, водопритоки в карьер здесь временно могут увеличиваться практически в два раза, до уровня  $200\text{-}250 \text{ м}^3/\text{час}$ .

На 7-ой год отработки расчётные водопритоки практически уже не увеличиваются ( $130 \text{ м}^3/\text{час}$ ), наоборот, их средняя интенсивность падает за счёт того, что ёмкостная составляющая в балансе дренируемых вод сокращается. Дополнительное

расчётное привлечение поверхностного стока (помимо перехвата подземного стока) из бассейна ручья Правый Албын на конец отработки составит 1580 м<sup>3</sup>/сут, из бассейна руч.Левый Албын - всего 40 м<sup>3</sup>/сут, подземное питание руч.Албын (ниже слияния ручьёв) уменьшается до 320 м<sup>3</sup>/сут. Таким образом, руч.Левый Албын будет полностью ликвидирован, руч.Правый Албын лишён подземной составляющей стока, а ущерб полному стоку р.Албын составит около 3000 м<sup>3</sup>/сут, т.е. его средний многолетний сток упадёт с 0,13 м<sup>3</sup>/с до 0,095 м<sup>3</sup>/с.

Работа системы скважинного дренажа до 3-го года отработки не очень значительно снижает водопритоки в карьер, так как в этот период ожидается по большей части рассредоточенная разгрузка по всему периметру карьера в целом. В то же время скважинный дренаж за это время формирует воронку депрессии вокруг карьера, которая способствует существенному снижению водопритоков в период наиболее активного заглубления – с 4-го по 6-й год отработки в три раза, до уровня 43 м<sup>3</sup>/час, что меньше величины водопритоков за счёт атмосферных осадков. Без предварительного скважинного водоотлива в принятых масштабах в первые 3 года отработки (при включении системы законтурного дренажа только с 4-го года), расчётные проскоки в карьер в этот период возрастают до величины 85-100 м<sup>3</sup>/час. При глубине отработки карьера более 150-200 м (на отметках +650 - +600 м) происходит частичное или полное осушение части скважин на северном и западном бортах карьера. В связи с этим в этот период на модели предусмотрено увеличение водоотлива на юго-западном борту (за счёт дополнительной скв.№9э), где высокие фильтрационные параметры водовмещающих отложений позволяют сосредоточить значительный водоотбор.

#### **4. Методика гидрогеологических исследований при разведке и разработке золоторудных месторождений Приамурья**

В комплексе геолого-разведочных работ по разведке золоторудных месторождений, включающий такие этапы как: поиски, разведка, ТЭО временных кондиций, ТЭО постоянных кондиций и проект разработки месторождения, собственно гидрогеологические работы, как правило, составляют незначительные объёмы, которые проводятся непосредственно на территории карьеров, тогда как область формирования дренажных вод охватывает области соответствующие областям питания в пределах водосборного бассейна. Вместе с тем, на каждом из этапов геолого-разведочных работ на золото, необходимо выполнить комплекс гидрогеологических исследований, соответствующий определенному уровню изученности:

1. На этапе поиска и разведки по низким категориям выполняются гидрологические исследования и методом аналогий оцениваются естественные ресурсы подземных вод территории, соответствующей области формирования дренажных вод.

2. На этапе ТЭО кондиции, в процессе которого определяется способ отработки полезного ископаемого и предполагаемая схема его отработки, наземная структура ГОКа, величина водопотребления, по результатам бурения и опробования гидрогеологических скважин и материалов геофизических исследований обосновываются разведочные модели, и проводится предварительное разведочное моделирование для обоснования прогнозных величин водопритоков до начала отработки месторождения. В результате проводится обоснование проекта водопонижительной системы и оцениваются эксплуатационные запасы подземных вод для водоснабжения (хозяйственно-питьевого и технического) по категориям  $C_1$ , или  $C_2$ .

3. При обосновании проекта разработки золоторудного месторождения методом численно-математического моделирования на специально разработанных и откалиброванных моделях выполняются прогнозы водопритоков в карьеры месторождения для запроектированной схемы их отработки.

4. В процессе отработки месторождения проводится мониторинг изменения гидрогеологических условий и по его результатам уточнение оперативной геофильтрационной модели области формирования дренажных вод.

5. После полной отработки месторождения выполняется оценка достоверности гидрогеологических прогнозов водопритоков.

На начальных этапах гидрогеологических исследований по изучению формирования притоков в карьеры в сложных трещиноватых средах при крайне ограниченном объеме информации об объекте исследования, в настоящее время широко применяется метод аналогий, позволяющий определить «коэффициент извлекаемости» по объектам-аналогам. Объект-аналог должен быть достаточно глубоко изучен не только с точки зрения фактических водопритоков, но и с точки зрения балансовых составляющих этих величин, формирующихся в нарушенных условиях. Информационным обеспечением для решения гидрогеологических задач по оценке притоков в карьеры методом аналогии являются фактические данные по водопритокам, полученным на действующих карьерах, находящихся в аналогичных гидрогеологических условиях.

Опыт гидрогеологического изучения золоторудных месторождений Приамурья, находящихся на разных этапах освоения, позволил выполнить оценку водопритоков в карьер месторождения Албын на ранних этапах его изучения методом гидрогеологической аналогии. В качестве гидрогеологических аналогов были

использованы месторождения Покровка и Пионер (табл.3), где было возможно построение детальных геофильтрационных моделей, откалиброванных по гидрологическим данным (разгрузка, наледи, реки) и при воспроизведении опытного водопонижения.

Как следует из табл.3 Албынское рудное поле прямым гидрогеологическим аналогом Пионерному и Покровскому рудным полям по геологическому и мерзлотному строению не является. Однако, принимая во внимание предпосылку о том, что величина инфильтрации в трещиноватых породах не зависит от субстрата и при учете площади распространения многолетнемерзлых пород, можно ориентировочно оценить водопритоки в карьер Албынского месторождения с применением метода аналогий.

Используя исходные данные, приведенные в табл.3 методом аналогии были оценены ожидаемые притоки подземных вод в карьер Албынского месторождения, представляющие собой долю естественных ресурсов подземных вод формирующихся в бассейне нижнего течения р.Харга (1542 км<sup>2</sup>), которая окажется привлечена к карьерам. При расчетах использовались понижающие коэффициенты:  $K_{извл.}$ , учитывающий невозможность привлечения к водозаборным сооружениям всего объема ресурсов подземных вод (по опыту оценок ресурсов и запасов подземных вод в различных гидрогеологических условиях – 0.8) и  $K_{мерзл.}$ , учитывающий широко распространенные по площади многолетнемерзлые породы – 0.7. Ожидаемая величина среднегодовых притоков к карьере на Албынском месторождении составила 1,6 тыс.м<sup>3</sup>/сут (или 66 м<sup>3</sup>/час).

Прогнозы водопритоков до начала отработки золоторудного месторождения выполняются на геофильтрационных моделях, обоснованных по достаточно ограниченному гидрогеологическим материалам. В данном случае, предварительное разведочное моделирование является, по сути дела, имитационным, при котором выполняются многовариантные прогнозные расчеты изменения гидродинамической ситуации при различных вариантах реализации инженерных решений. В главе 3 подробно рассмотрен такой подход на примере исследования методом моделирования формирования прогнозных водопритоков при разведке месторождения Албын.

На этапе отработки месторождений по данным мониторинга гидрогеологических условий на каждом этапе разработки карьеров осуществляется уточнение и детализация геофильтрационной модели, которая в данном случае является оперативной. Гидрогеологические и технические характеристики участков разрабатываемых карьеров на разные моменты времени позволяют выделить опорные стационарные периоды режима подземных вод для решения обратных задач. Достаточно быстрая стабилизация гидродинамических возмущений в гидрогеологических массивах определяет возможность решения задач обратных и прогнозных задач в стационарной постановке. Подробное

Таблица 3

Сопоставление основных характеристик Покровского, Пионерного и Албынского месторождений

Характеристика	Рудное поле		
	Покровское	Пионерное	Албынское
Приуроченность к водосборному бассейну	Правобережная часть бассейна среднего течения р. Зеи		Левобережная часть бассейна верхнего течения р. Селемджа
	Бассейн р. Тыгды	Бассейн р. Улунги	Бассейн р. Харга
Абсолютные отметки поверхности, м	320-330	300-320	900-1100
Среднегодовая температура (°С)	-2,8	-2,8	-4,8
Среднегодовой слой осадков: - теплый период - год	419 мм 457 мм	419 мм 457 мм	579 мм 687 мм
Характер распространения и средняя мощность многолетней мерзлоты	Прерывистая, 15 м		Прерывистая, до 40 м и более
Гидрогеологическая структура	Туранский гидрогеологический массив в составе Монголо-Охотской сложной гидрогеологической складчатой области		Джагдинский ГГМ в составе Монголо-Охотской СГСО
Основные коллекторы подземных вод	Трещиноватые интрузивные образования, раздробленные дизъюнктивной тектоникой	Трещиноватые интрузивные образования, раздробленные дизъюнктивной тектоникой	Верхнепалеозойские метаморфизованные сланцы, раздробленные дизъюнктивной тектоникой
Частный водосбор и его площадь	Верховье р. Тыгды – 627 км <sup>2</sup>	Верховье р. Улунги – 280 км <sup>2</sup>	Низовье р. Харга – 1542 км <sup>2</sup>
Локальный водосбор, его площадь и доля в частном водосборе	руч. Сергеевский, 53 км <sup>2</sup> (8.5 %)	Пионерное рудное поле, 20 км <sup>2</sup> (7 %)	руч. Албын и Непташинский, 19,5 км <sup>2</sup> (1.3 %)
<u>Модули подземного стока (л/с·км<sup>2</sup>):</u> <u>- средневзвешенный (по всей площади)</u>	0.3	1.0	1.0
<u>- на площадях, перспективных для перехвата ресурсов подземных вод</u>	3.5	3.5	3.1
Суммарный расход наледобразующих источников в пределах перспективных площадей (тыс.м <sup>3</sup> /сут)	1.2	1.5	0.6
Параметры карьеров: - площади (км <sup>2</sup> )  - глубина I очереди (м)  - средняя производительность дренажной системы (тыс.м <sup>3</sup> /сут)	Покровка-1 – 0,49 Покровка -3 – 0,18 Всего - 0.67  35-45  3.3	Северный - 1,22 Южный –2,53 Андреевский – 1,79 №6 (чаша 1) – 4,9 №6 (чаша 2) – 3,8 №6 (чаша 3) – 3,2 Всего – 17,4 Северный - 24 Южный –110 Андреевский – 179 -	50  -

воспроизведение гидродинамической истории отработки месторождения (по опорным стационарным периодам) позволяет определять фильтрационные параметры в областях интенсивного возмущения, создаваемого разными дренажными системами. В главе 2 приведены результаты моделирования на оперативной месторождения Пионер.

В настоящее время проблемы достоверности гидрогеологического прогнозирования в условиях коренной перестройки баланса подземных вод на участках разработки месторождений твердых полезных ископаемых стоят достаточно остро при обосновании схем отработки карьеров. В результате работы мощных систем законтурного осушения карьеров и внутрикарьерного водоотлива на крупных месторождениях полезных ископаемых происходит региональное снижение уровней подземных вод, что приводит к изменениям условий питания и разгрузки подземных вод. Основным методом решения прогнозных задач в таких условиях в настоящее время является численное математическое моделирование. Методика решения прогнозных задач разработана достаточно детально, основные трудности при выполнении гидродинамических прогнозов методом моделирования возникают обычно на этапе обоснования геофильтрационных схем. Причины неоправдавшихся прогнозов чаще всего кроются в несоответствии принятой расчетной схемы природной обстановке.

Критерием достоверности гидрогеологического прогноза является соответствие прогнозных уровенных и балансовых величин, полученных до начала разработки месторождения тем фактическим депрессионным воронкам, которые формируются в процессе полной отработки месторождения. В качестве примера определения достоверности гидродинамического прогноза, являются результаты исследования изменений условий формирования подземных вод на территории Покровского золоторудного месторождения на разных этапах его освоения и данные прогнозного моделирования, выполненного на этапе проектирования разработки карьеров.

Эксплуатация месторождения началась в 2000 году, в течение 10 лет эксплуатации комбинированной системы водопонижения на карьерах Покровском месторождении гидрогеологической службой ОАО «Покровский рудник» велись наблюдения за уровнями подземных вод в скважинах наблюдательной сети мониторинга и велся учет суммарного водоотбора дренажной системы карьеров. Суммарный водоотбор из дренажных скважин в процессе отработки карьера в течение 10 лет изменялся от 1,4 до 7,4 тыс. м<sup>3</sup>/сут (рис.5), причем в первые пять лет (первый этап отработки карьеров) он соответствовал прогнозной величине 5,5 тыс. м<sup>3</sup>/сут, а затем, по мере углубления карьеров и осушения коры выветривания, водопритоки сократились до 2,8 тыс. м<sup>3</sup>/сут. При этом средняя величина дренажного водоотлива за период 2001 - 2007 г.г., в течение которого глубина

карьеров была доведена до 45 м, составила 3,3 тыс. м<sup>3</sup>/сут (рис.5.). Таким образом, сделанные на численной модели прогнозы водопритоков, нашли подтверждение при эксплуатации дренажной установки. На всех этапах отработки карьеров уровни подземных вод располагались ниже дна карьера (рис. 5.)

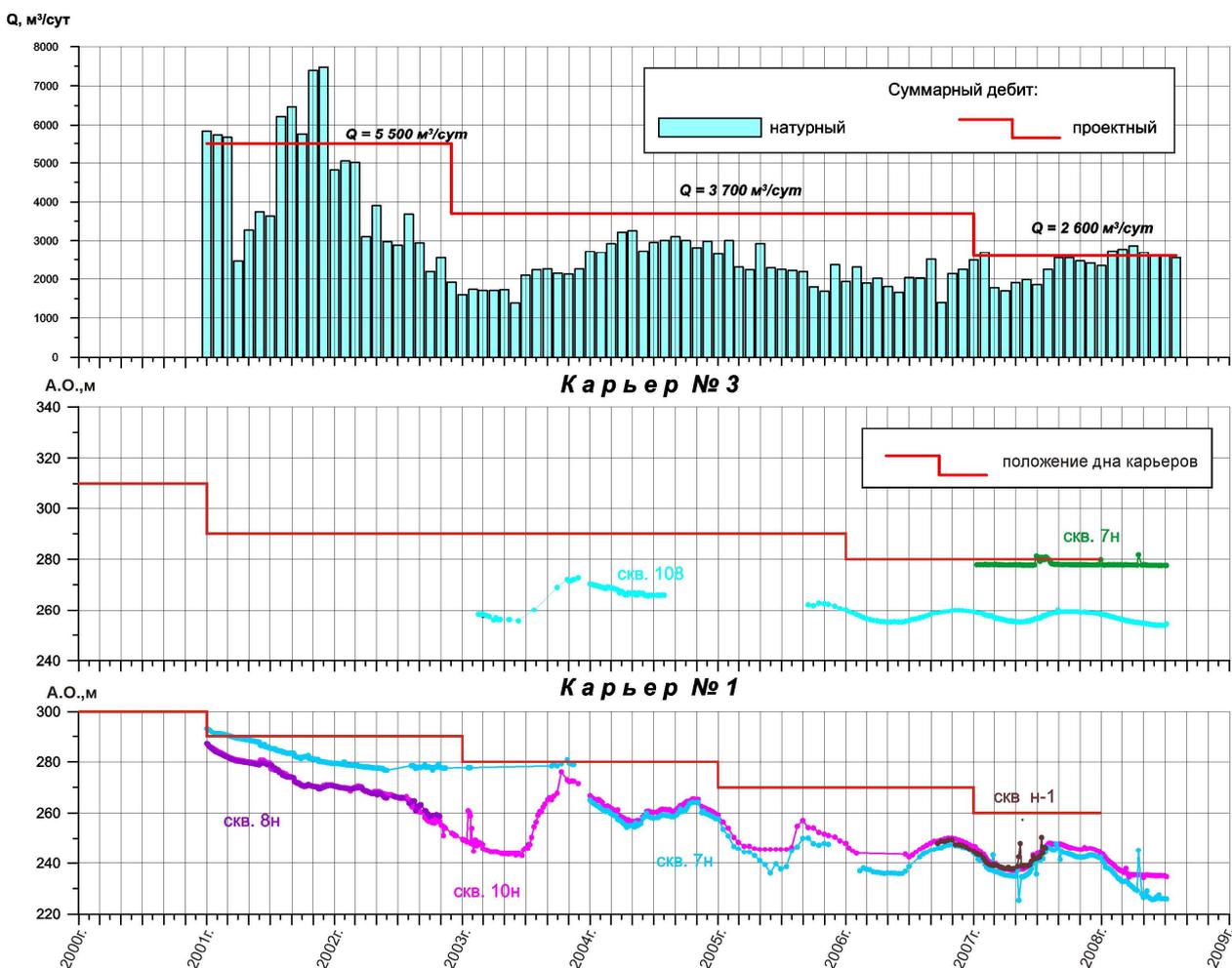


Рис.5. Графики изменения во времени суммарных проектного и натурального дебитов дренажных скважин, положения дна карьеров №1 и №3 и уровня подземных вод в наблюдательных скважинах

Анализ опыта эксплуатации водопонизительной системы на Покровском золоторудном месторождении показал, что геофильтрационная схема, на базе которой было выполнено прогнозное моделирование работы дренажа, достаточно полно соответствует природной обстановке территории золоторудного месторождения. Это объясняется тем, что удалось выполнить калибровку модели по данным мониторинга подземных вод, проведенного на первых стадиях освоения месторождения, когда геофильтрационные параметры чувствительны к резкому изменению уровней подземных вод. Кроме того, детальное изучение естественных ресурсов подземных вод (условий питания и разгрузки подземных вод) было проведено не только в пределах собственно рудного поля, но и по всей области формирования дренажных вод, что позволило

повысить степень обоснованности геофильтрационной схемы и выполненных на ней прогнозных расчетов.

Обоснованная по результатам моделирования схема водопонижения на Покровском месторождении оправдала себя и, следовательно, использованные при её разработке принципы и приемы могут быть применены для обоснования водопонижительной системы на других золоторудных месторождениях Амурской области.

### ***Заключение***

1. Разработка карьеров золоторудных месторождений Приамурья приводит к необратимым изменениям условий формирования ресурсов подземных вод, заключающимся в инверсии разгрузки подземных вод в речную сеть и привлечении транзитного поверхностного стока.

2. Для достижения наиболее точных прогнозных оценок по водопритокам подземных вод в карьеры месторождений необходимо постоянно уточнять и корректировать гидродинамическую модель на различных стадиях отработки месторождений. Кроме того, на первых стадиях разведки месторождения, нужно учитывать проектные решения по размещению объектов отработки (нагорные каналы, отвалы, водоводы и т.д.), способствующих образованию дополнительного техногенного питания, которое с течением разработки не должно претерпевать значительных изменений.

3. И использованные при разработке геофильтрационных моделей золоторудных месторождений Пионер и Албын принципы и приемы могут быть применены для обоснования водопонижительной системы на других золоторудных месторождениях Приамурья.

### ***Основные положения диссертации опубликованы в изданиях, рекомендуемых ВАК:***

1. Абрамов В.Ю., Вавичкин А.Ю., Щипанский А.А., Апанасенко Д.С. «Криогидрогеохимические условия золоторудного месторождения Дегдекан» Разведка и охрана недр. Выпуск 10 - 2010 г. С. 52-56
2. Апанасенко Д.С., Олиферова О.А. «Сопоставление прогнозных и фактических изменений гидрогеологических условий в результате разработки Покровского золоторудного месторождения» Разведка и охрана недр. Выпуск 11 – 2012 г. С. 55-59

### ***В других изданиях:***

3. Апанасенко Д.С. «Прогноз водопритока в проектируемые карьеры месторождения полиметаллов «Фёдорова Тундра» (Мурманской области)» Третья международная научная конференция молодых ученых и талантливых студентов. Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность. Сборник трудов 2009 г., С. 55-57
4. Апанасенко Д.С. «Исследование субаквальной разгрузки подземных вод и подземного стока в районе разработки Албынского золоторудного месторождения». Четвертая международная научная конференция молодых ученых и талантливых студентов. Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность. Сборник трудов, 2010 г. С. 168-171
5. Апанасенко Д.С., Щипанский А.А. «Гидрогеологическое обоснование условий отработки золоторудного месторождения «Дегдекан». Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Материалы шестой общероссийской конференции изыскательских организаций, 2011. С.201-205.
6. Апанасенко Д.С. «Условия водоснабжения золоторудных месторождений питьевыми и техническими водами в зонах распространения многолетнемерзлых пород (на примере золоторудного месторождения Пионер Амурской области).» «Питьевые подземные воды. Изучение, использование и информационные технологии», Материалы международной научно-практической конференции, 18-22 апреля 2011 г., часть 3. 2011г. с. 300 – 308.
7. Апанасенко Д.С. «Оценка динамики прогнозных водопритоков в карьер №6 золоторудного месторождения «Пионер» и их сопоставление с натурными данными». Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Материалы восьмой общероссийской конференции изыскательских организаций, 2012. С.168-171.
8. Апанасенко Д.С., Олиферова О.А. «Оценка изменения баланса подземных вод в процессе разработки карьеров золоторудного месторождения «Пионер» в Амурской области». Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России. Иркутск, 2012. С.50-54.