

Р.С.Штенгелов • *Курс лекций «Поиски и разведка подземных вод»*
(для студентов кафедры гидрогеологии геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова)

Р.С. Штенгелов

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

**РАЗВЕДОЧНАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ.
ПОИСКИ и РАЗВЕДКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Допущено УМС геологического факультета
МГУ имени М.В.Ломоносова
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по направлению «Геология»

Московский государственный университет
имени М.В.Ломоносова

геологический факультет

Москва, Ленинские горы

Тел.: 939 23 94

ВЫПИСКА

из протокола № 8 заседания Учёного совета геологического факультета МГУ
от «17» декабря 2015 года
/подлинник протокола находится в делах совета факультета/

СЛУШАЛИ: об издании сотрудниками факультета учебной и научной литературы.

РЕШЕНИЕ СОВЕТА: Утвердить решение секретариата Учебно-методического совета геологического факультета МГУ и рекомендовать к изданию учебное пособие Штенгелова Р.С. «Разведочная гидрогеология. Поиски и разведка подземных вод» (электронная версия) с присвоением грифа «Допущено УМС геологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению «Геология»».

Председатель Учёного совета
академик



Д.Ю.Пуцаровский

Учёный секретарь совета
доцент

М.Е.Успенская

Часть I. РАЗВЕДОЧНАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Балансово-гидрогеодинамические основы формирования и оценки эксплуатационных запасов пресных подземных вод

- **ВВЕДЕНИЕ**
- **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**
- **ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ**
- **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**
 - Что такое «эксплуатационные запасы» ?
 - Стадийность поисково-разведочных работ
 - Категоризация эксплуатационных запасов
 - Требования к подсчёту эксплуатационных запасов
 - Рациональный водозабор
 - Допустимое понижение уровня в водозаборе
 - Расчётный срок эксплуатации
 - Сохранение качества воды
 - Воздействие водоотбора на окружающую среду

ВВЕДЕНИЕ

Становление учебной дисциплины «Поиски и разведка подземных вод» связано с именем крупнейшего советского гидрогеолога Г.Н.Каменского, преподававшего в Московском геолого-разведочном институте и опубликовавшего первый учебник с таким названием в 1947 г. В те времена (40-е – 60-е годы прошлого века) содержание этого курса трактовалось весьма широко, охватывая методику практически всех видов прикладных гидрогеологических работ – не только изыскание источников водоснабжения, но и исследования в области гидротехнического строительства, рудничной и мелиоративной гидрогеологии, нефтедобычи и др. Поэтому в большинстве ВУЗов для подобного курса чаще использовались названия «Специальная гидрогеология» или «Методика гидрогеологических исследований», причем последнее наименование успешно сохраняется до нынешнего времени.

На кафедре гидрогеологии Московского университета до начала 70-х годов существовал курс «Специальная гидрогеология», который читал профессор Б.И.Куделин. Позже из него был выделен курс «Поиски и разведка подземных вод», создателем которого был профессор Н.И.Плотников, читавший его на протяжении почти 20 лет. Важно подчеркнуть, что в этот курс были вынесены только вопросы методики гидрогеологических исследований в связи с изысканием подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения; остальные прикладные гидрогеологические проблемы, а также методика разведки специфических видов подземных вод (лечебные минеральные, промышленные и т.д.) рассматриваются в других специализированных учебных курсах кафедры.

По действующему (с 2011 г.) учебному плану на 8-м семестре (заключительный этап бакалавриата) студенты слушают курс «Разведочная гидрогеология» (название предложено проф. В.М.Шестаковым), в котором рассматриваются балансово-гидрогеодинамические основы формирования и оценки эксплуатационных запасов пресных подземных вод. В развитие этой базы на 1-м семестре магистратуры преподаётся курс «Поиски и разведка подземных вод», в котором детализируется типизация месторождений подземных вод и рассматриваются основные вопросы методики поисково-разведочных работ и расчётов водозаборных сооружений, проблемы искусственного пополнения эксплуатационных запасов подземных вод и комбинированного использования водных ресурсов.

Предлагаемый материал можно рассматривать как расширенный конспект лекций, которые автор читает на кафедре гидрогеологии МГУ уже более 30 лет. По своему



содержанию конспект, несомненно, недостаточен для полного, глубокого освоения этого обширного раздела прикладной гидрогеологии. Многие позиции в нём лишь обозначены; предполагается, что параллельно студент обращается к рекомендуемой научной и методической литературе (и не только к ней) и привлекает знания, ранее полученные при изучении курсов «Гидрогеология», «Гидрогеодинамика», «Гидрогеохимия», «Региональная гидрогеология», «Геогидрология», «Инженерные сооружения» и многих других, составляющих основу специального образования гидрогеолога.

Структура представления материала – относительно свободная, без конкретной расчасовки по лекциям, поскольку рабочий план чтения лекций и выполнения практикума претерпевает обычно значительные модификации в зависимости от положения в учебном плане специальности, лимита учебного времени и т.д.

Учитывая жанр материала, в нем принципиально не приводятся ссылки на многочисленные источники заимствования. При полнейшем и огромном уважении автора к основоположникам теоретической гидрогеологии и ко всем «действующим» коллегам в конспекте приводятся лишь те фамилии, которые вошли в устоявшиеся общепринятые термины, то есть по сути стали уже нарицательными – например, «схема Мятиева-Гирицкого» и т.п.



Рекомендуемая для освоения материала литература

(деление на основную и дополнительную, формально требующееся в программах учебных курсов, конечно же, весьма условно)

ОСНОВНАЯ

Боревский Б.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С. Оценка запасов подземных вод. Изд.2-е. Киев, Выща школа, 1989

Бочеввер Ф.М., Лапшин Н.Н., Орадовская А.Е. Защита подземных вод от загрязнения. М., Недра, 1979

Штенгелов Р.С. Формирование и оценка эксплуатационных запасов пресных подземных вод. М., Недра, 1988

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

Арцев А.И. и др. Проектирование водозаборов подземных вод. М., Стройиздат, 1976

Белицкий А.С., Дубровский В.В. Проектирование разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения. М., Недра, 1974

Биндеман Н.Н., Язвин Л.С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. Изд. 2-е. М., Недра, 1970

Боревский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. Изд. 2-е. М., Недра, 1979

Боревский Б.В., Язвин Л.С. Стратегия развития ресурсной базы питьевых подземных вод на территории России в XXI веке. «Разведка и охрана недр», 2003, № 10

Бочеввер Ф.М. Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. М., Недра, 1968

Гидрогеодинамические расчеты на ЭВМ. Под ред. Р.С.Штенгелова. М., Изд-во Моск. ун-та, 1994

Гидрометрическая оценка взаимодействия речных и подземных вод (методические рекомендации). Л., ГГИ, 1973

Гриневский С.О. Гидрогеодинамическое моделирование взаимодействия подземных и поверхностных вод. М., Инфра-М, 2012

Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н. Санитарная охрана водозаборов подземных вод. М., Недра, 1987

Плотников Н.И., Плотников Н.А., Сычев К.И. Гидрогеологические основы искусственного восполнения запасов подземных вод. М., Недра, 1978

Полевые методы гидрогеологических, инженерно-геологических, мерзлотных и инженерно-геофизических исследований. Под ред. В.А.Королева, Г.И.Гордеевой, С.О.Гриневского, В.А.Богословского. М., Изд-во Моск. ун-та, 2000

Справочное руководство гидрогеолога. Под ред. В.М.Максимова. Т.1,2. М., Недра, 1979

Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. Изд. 3-е. М., Изд-во Моск. ун-та, 1995



ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Устойчивое и здоровое водообеспечение – одна из критически важных основ жизнедеятельности человека, особенно для городских поселений.

Три составные части проблемы водообеспечения населения:

- 1) планирование водопотребления, управление и учёт водных ресурсов – *водное хозяйство*,
- 2) изыскание и оценка обеспеченных источников водоснабжения – *гидрогеологи* (подземные воды), *гидрологи* (поверхностные воды),
- 3) водоподготовка, техническое обеспечение работы водозаборных сооружений и водоразборной сети – *коммунальное хозяйство*.

Человечество потребляет около 4.5 тыс. км³ пресной воды в год, то есть в среднем 1.5 – 2 м³ в сутки на каждого жителя Земли. По данным IWMI (Международный институт управления водными ресурсами), основная часть этого немалого количества уходит на сельскохозяйственные нужды (орошение) – 70%, на технические потребности промышленности – 20% и на муниципальное расходование – 10%.

На собственные нужды (то, что течёт из кранов в квартире) человек расходует относительно немного – 200-400 л в сутки. В Москве современный норматив по «холодному» водоснабжению для населения 7 м³ в месяц на человека (около 230 л в сутки). Но даже из этого объёма «биологически необходимое» количество воды (питьё и приготовление пищи) не превышает 5% (по подсчётам американцев). 77% напрямую уходит из ванной и туалетной комнат в систему водоотведения (смывной бачок, душ, ванна и т.п.). Остальное – бытовые нужды (мытьё посуды, стирка, уборка помещения...). Уже давно стоит вопрос: как избежать расходования пресной воды питьевого качества (при ограниченных её запасах и дорогостоящей водоподготовке!) на хозяйственные цели, вовсе не требующие столь высокого качества? Экономически и технологически приемлемых идей пока нет («две трубы» в каждую квартиру, перевод водопроводной сети на техническое качество с установкой индивидуальных конечных фильтров в каждой квартире или с раздачей населению бутилированной питьевой воды или и т.д.).

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ преобладают в структуре водообеспечения (50-75%, до 100%) практически во всех европейских странах, в США, Китае. В России доля участия подземных вод в организации водоснабжения составляет 45%, однако существенно



различна по регионам¹: в 35-ти административных субъектах РФ она достигает 70-100%, но в 12-ти не превышает 10-20%.

Ресурсный потенциал пресных подземных вод (сумма используемых, разведанных и прогнозных ресурсов) в целом по России оценивается примерно в 1.1 млрд. м³/сутки (более 400 км³/год). Разведано около 6400 месторождений с потенциальными эксплуатационными возможностями около 94 млн. м³/сутки, то есть в среднем по стране примерно 0.7 м³/сутки на 1 человека.

Реально эксплуатируется 3300 месторождений. Преобладают мелкие месторождения – менее 5 тыс. м³/сутки. Суммарная добыча подземных вод (без водоотлива и дренажа) составляет почти 24 млн. м³/сутки, то есть четверть от разведанного количества, но чуть более 2% от прогнозного ресурсного потенциала! Следует заметить, что структура использования пресных подземных вод существенно отличается от использования водных ресурсов в целом – во всяком случае, в нашей стране на хозяйственно-питьевое водоснабжение направляется почти 70% добываемых подземных вод, на производственно-техническое – 28%, и лишь чуть более 2% – на сельхозорошение.

Характерна такая деталь: в водоснабжении городских поселений подземные воды составляют 40%, а для сельских населённых пунктов – более 80%. При этом – чем крупнее город, тем, как правило, меньше доля использования подземных вод: для крупных городов (с населением более 100 тыс. чел.) она составляет уже менее 30%, а в наиболее крупных городах (более 250 тыс. чел) в половине случаев используются практически только поверхностные воды (типичный пример – Москва).



Такая ситуация свойственна для большинства крупных городов мира и объясняется, главным образом, экономическими причинами. Для получения необходимого объёма подземных вод питьевого качества (для водообеспечения большого города – несколько миллионов м³ в сутки) потребуется задействовать целую группу крупных месторождений на значительных площадях. Они должны быть достаточно удалены от городской территории, чтобы возможно было избежать неминуемого бытового и промышленного загрязнения и организовать эффективную санитарную охрану водозаборных сооружений. Создание и функционирование протяжённых (десятки километров) магистральных водоводов большого сечения для перегона добываемой воды в город требует огромных капитальных и эксплуатационных затрат; немаловажными в таких случаях становятся и вопросы землеотвода под такие крупные линейные инженерные сооружения.

¹ Приводимые ниже данные по использованию запасов подземных вод в нашей стране отвечают состоянию на 2008 г. Они постепенно меняются по мере роста народонаселения, развития инфраструктуры, производственно-технического и агропромышленного потенциала территорий.

В то же время для средних и крупных городов необходимо иметь (по действующим в нашей стране нормам защиты систем хозяйственно-питьевого водоснабжения) резервный водозабор, использующий исключительно подземные воды и обеспечивающий минимально необходимый объём водоснабжения в условиях чрезвычайных ситуаций естественного или техногенного характера.

Для примера – Москва: потребление до 9 млн. м³/сутки, практически 100% за счёт поверхностных вод Волжской, Москворецкой и Вазузской водных систем (Иваньковское, Клязьминское, Пяловское, Пестовское, Икшинское, Учинское, Химкинское, Можайское, Рузское, Озернинское, Истринское, Вазузское, Яузское, Верхне-Рузское водохранилища). В качестве трактов водоподачи используются канал им. Москвы, реки Москва, Руза и Истра. В будущем предполагается использовать четыре группы разведанных месторождений подземных вод (в основном, в черте Московской области на удалении порядка 100 км каждая) с общей производительностью 2.7 млн. м³/сутки, из которых 1.6 млн. м³/сутки предназначены для обеспечения резервного водоснабжения Москвы.

Почему в большинстве стран мира отдают явное **ПРЕДПОЧТЕНИЕ ПОДЗЕМНЫМ ВОДАМ** в деле организации водоснабжения ?



Во-первых, подземные воды обладают существенно более высокой защищённостью по сравнению с практически беззащитными поверхностными водоисточниками. Показательный пример – общеизвестная чрезвычайная техногенная ситуация (взрыв на фабрике в китайском Цзилине зимой 2005-06 г.г.), вызвавшая катастрофическое нитробензольное загрязнение рек Сунгари (Китай) и Амура и создавшая реальную угрозу дезорганизации водоснабжения краевого центра г. Хабаровска, которое основано на русловом водоприёмнике в дне одной из протоков Амура. Аналогичная ситуация едва не повторилась здесь в 2010 г. Наводнение 2013 г., сопровождавшееся запредельным бактериологическим загрязнением, ещё раз показало уязвимость поверхностных водоисточников. Такого рода загрязнения создают реальную угрозу здоровью населения. В январе 2014 г. в результате загрязнения р. Элк (США, штат Западная Виргиния) химикатами местного предприятия более 300 тысяч человек остались без питьевой воды, а всего за двое суток в медицинские учреждения обратились более тысячи человек.

Однако, защищённость подземных вод – в особенности, грунтовых – далеко не абсолютна; около 30-40% действующих подземных водозаборов уже сейчас обнаруживают признаки техногенного загрязнения.

Немаловажным преимуществом подземных вод по сравнению с поверхностными является значительно более высокая зарегулированность стока, обеспечивающая

возможность устойчивой эксплуатации во внутригодовом и многолетнем разрезе. Магазинирование («заготовка впрок») подземных вод возможно с помощью компактных систем искусственного пополнения запасов – более экономичных, простых в эксплуатации и экологически «безобидных» по сравнению с поверхностными водохранилищами; при этом происходит естественное улучшение качества воды при фильтрации к водозабору через водовмещающие породы.

Можно также отметить технологическую устойчивость систем эксплуатационного отбора подземных вод практически независимо от времен года, что немаловажно для большинства климатических провинций с суровой зимой, значительно осложняющей работу поверхностных водозаборов за счёт ледовых явлений на реках; особые неудобства для работы русловых водоприёмников создаёт также постоянное перемещение русловых наносов.

Академик А.П.Карпинский назвал подземные воды «самым драгоценным полезным ископаемым». Пожалуй, можно даже усилить эту справедливую оценку – подземные воды не имеют цены. Это не коммерческое, а социально и биологически значимое полезное ископаемое, которое будет использоваться при любой себестоимости его добычи.

Но **запасы подземных вод ограничены**, несмотря на их естественную возобновляемость.

Хотя в гидросфере Земли объём подземных вод в сотни и тысячи раз превышает объём поверхностных вод суши (реки, озёра, болота...), но по стоку картина не в их пользу. Среднегодовые модули речного стока превышают соответствующие характеристики подземного стока, как правило, в несколько раз. Наглядный показатель для стоковых объектов – срок возобновления воды, то есть время, необходимое для перемещения воды от области формирования потока до области его разгрузки. Для поверхностных водотоков разного порядка этот показатель составляет 10-20 суток, а для потоков подземных вод даже в зоне интенсивного водообмена – десятки и сотни лет!

Ограниченность количества подземных вод требует особого внимания к их эксплуатации и охране, чтобы предотвратить *истощение* (критическое уменьшение запасов, ограничивающее возможность дальнейшего эксплуатационного водоотбора) и *загрязнение* (неприемлемое ухудшение потребительского качества воды, исключающее возможность её хозяйственно-питьевого применения).

Официальный защитный механизм для предотвращения истощения запасов подземных вод заключается в *лицензировании* их добычи в пределах величины *эксплуатационных*



запасов, которая специально рассчитывается для каждого водозабора и ставится на государственный учёт в водохозяйственном балансе региона.

Отсюда вытекает одно из важнейших направлений прикладной гидрогеологии – **ОЦЕНКА (ПОДСЧЁТ) ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ¹ ПОДЗЕМНЫХ ВОД.**

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

ЧТО ТАКОЕ «ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАПАСЫ»?

Сам термин заимствован из практики оценки количеств твёрдых (рудных и нерудных) полезных ископаемых, однако существует принципиальная разница: для твёрдых ископаемых запасы измеряются объёмом или весом полезного компонента; для подземных вод мерой эксплуатационных запасов является дебит (производительность), то есть постоянное во времени количество воды, извлекаемое водозабором. Размерность величины эксплуатационных запасов – м³/сутки.

Строгое определение термина в нормативных и методических документах регулярно совершенствуется (во всяком случае – несколько видоизменяется), однако устоявшийся его смысл заключается в следующем:

Эксплуатационные запасы – производительность геолого-технически обоснованного водозаборного сооружения, которая может быть получена на месторождении при заданных режиме и условиях эксплуатации, а также качестве воды, удовлетворяющем требованиям её целевого использования в течение расчётного срока водопотребления с учётом водохозяйственной обстановки, природоохранных, санитарных требований и социально-экономической целесообразности их использования.

Оценка эксплуатационных запасов (ЭЗ) подземных вод – одно из наиболее развитых направлений приложения труда специалистов-гидрогеологов. Можно уверенно говорить о существовании крупного самостоятельного раздела прикладной гидрогеологии – *разведочной гидрогеологии*. Для территории Советского Союза (ныне России, стран СНГ и Прибалтики) накоплен огромный опыт оценки эксплуатационных запасов подземных вод в различных геолого-структурных и физико-географических условиях их формирования. Существует обширная научная и методическая литература, разработаны и совершенствуются нормативные документы, регламентирующие постановку работ по

¹ В 2007 г. термин **эксплуатационные запасы** был официально заменён на **запасы**. Очевидная непродуманность этого терминологического «усовершенствования» позволяет нам не обращать на него внимания и продолжать использовать прежний термин, сложившийся десятилетиями и однозначно понимаемый специалистами с гидрогеологическим образованием.



оценке и учёту эксплуатационных запасов подземных вод. Все эти документы практикующий гидрогеолог должен знать и изучать по мере их модернизации. Однако, в нашем учебном курсе мы будем лишь обозначать основные организационные принципы постановки работ, сосредотачиваясь, главным образом, на природных балансово-гидрогеодинамических закономерностях формирования ЭЗ и на существующих методах их оценки.

По смыслу следует разграничить две основные формы постановки задач оценки ЭЗ.

1. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ. По логике с такой оценки должно начинаться освоение перспективного, но малоизученного региона; фактически же такие работы чаще всего проводятся для интенсивно освоенных регионов, уже на фоне активно развитой системы многолетней эксплуатации подземных вод. Эта достаточно трудоёмкая и затратная работа чрезвычайно полезна с точки зрения рационального управления использованием подземных вод. Такие работы выполняются не часто; их заказчиком обычно выступают федеральные или региональные органы генерального планирования развития территорий.

Цель проведения региональной оценки (переоценки) прогнозных ресурсов – подсчитать *потенциальный максимум* водоотбора для некоторой заданной территории (гидрогеологической структуры, крупного речного бассейна, промышленного или административного региона и т.п.).

При подсчёте размещения водозаборов по площади может быть принято в различных вариантах:

а) система водоотбора определена заказчиком и включает, как правило, большинство фактически существующих водозаборов плюс некоторое количество перспективных – в соответствии с планами развития оцениваемой территории;

б) по результатам работ должна быть рекомендована некая оптимальная (в геолого-техническом и водохозяйственном отношении) система и величина водоотбора, наиболее эффективно реализующие эксплуатационные возможности территории;

в) конкретная система водоотбора не определена и он принимается рассредоточенным по всей оцениваемой площади. Предполагается, что в такой постановке оценивается абсолютный максимум эксплуатационных возможностей территории, однако практический смысл такой оценки сомнителен в силу нереальности инженерного воплощения подобной системы водоотбора. Такую постановку можно рассматривать как вспомогательную (начальное приближение) при решении задачи по варианту б).

Региональная оценка позволяет:



- а) выявить региональную неравномерность распределения ресурсов подземных вод,
- б) для малоизученных регионов – предварительно оценить абсолютные величины прогнозных ресурсов подземных вод, а в освоенных районах с действующими водозаборами – сопоставить потенциальные возможности с фактическими величинами водоотбора, выявить «дефицитные» и «профицитные» площади с целью упорядочения и оптимизации существующего и перспективного использования подземных вод.

Результаты региональной оценки относят к категории *прогнозных ресурсов*; используются также термины «перспективные ресурсы», «потенциальные ресурсы» и пр. В целом нужно обратить внимание на неустоявшийся (несмотря на многолетнюю, уже почти вековую, научную дискуссию) характер терминологии в обозначении как учётных, так и генетических категорий количества подземных вод, обилие разнообразных классификаций в научной литературе и нормативно-методических документах. К этой ситуации надо относиться с пониманием, учитывая уникальную природу подземных вод как полезного ископаемого.

2. ЛОКАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ – в этом случае исходной, заданной величиной является требуемый дебит водозабора (*заявленная потребность*) для конкретного водопотребителя; в качестве заказчика чаще всего выступает местная, территориальная администрация или конкретная организация.

Для подсчёта эксплуатационных запасов гидрогеологическая организация, имеющая лицензию на соответствующий вид деятельности, предпринимает специальный комплекс полевых и камеральных работ **ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ (ПРР)** с целью получения достаточного объёма необходимой информации. На её основе и производится подсчёт, при котором гидрогеолог руководствуется всеми условиями, содержащимися в вышеприведенном определении понятия «ЭЗ» (подробно рассмотрим их позднее). Сейчас важно подчеркнуть, что в результате выполнения ПРР и последующих расчётов исполнитель-гидрогеолог должен определить:

- 1) количество скважин,
- 2) их конструкцию (положение фильтров в разрезе, диаметры),
- 3) точки их расположения,
- 4) размер «охранной» зоны будущего водозабора,

при этом должно быть доказано, что

- именно это количество скважин
- рекомендуемой конструкции
- расположенных в рекомендуемых точках



- в течение заданного времени

будут давать требуемую постоянную производительность $Q_э$ (это и есть ЭЗ), причём

- понижения уровней подземных вод не превысят критических значений
- добываемая вода в течение всего срока эксплуатации по показателям качества будет отвечать заданному назначению (например, хозяйственно-питьевое использование)
- влияние водоотбора на природную среду будет «терпимым» (согласованным с органами надзора).

В ходе ПРР оцениваются также условия строительства и эксплуатации водозабора как инженерного сооружения, решаются вопросы землепользования, проведения оздоровительных мероприятий в зоне санитарной охраны, водоподготовки и т.п. Всю эту сложную работу, требующую комплексного участия специалистов разнообразного профиля, организует гидрогеолог, поскольку конечная цель исследований – оценка гарантированной величины добычи подземных вод на разведываемом месторождении – несомненно находится в «сфере ответственности» гидрогеолога.



СТАДИЙНОСТЬ – ОСНОВНОЙ ПРИНЦИП ОРГАНИЗАЦИИ ПРР

Идея стадийной организации работ очевидна – последовательное приближение к «истине». Результаты работ на каждой стадии анализируются и обсуждаются, после чего составляется проект работ на следующую стадию, учитывающий выявленные геолого-гидрогеологические особенности. Названия, количество стадий в нормативно-методических документах периодически пересматриваются, но логика постановки исследований, последовательность целей принципиально не меняется.

При локальных оценках принята такая последовательность стадийного изучения:

ПОИСКИ: при этих работах, в первую очередь, используются фондовые материалы предшествующих исследований; в случае значительной заявленной потребности и в слабоизученных районах могут быть предприняты полевые работы регионального характера (средне- и крупномасштабные гидрогеологические съёмки, бурение и опробование поисковых скважин, гидрогеохимическое опробование, гидрометрические и геофизические работы и т.д.).

Цели ПРР на этой стадии:

– обоснование выбора основного водоносного горизонта (то есть достаточного по своим свойствам для удовлетворения заявленной потребности, по возможности неглубоко залегающего, но при этом защищённого от поверхностных загрязнений),

- обоснование выбора перспективного района, то есть такой площади в пределах области распространения основного водоносного горизонта, где наиболее вероятно могут быть выявлены месторождения подземных вод, достаточные для удовлетворения заявленной потребности,
- предварительное оконтуривание одного из таких месторождений как «первоочередного».

Понятие «месторождение» для пресных подземных вод почти лишено абсолютного смысла, поскольку они распространены практически повсеместно. Оно используется довольно произвольно – главным образом, в учётных целях, для географической привязки участков оценки или эксплуатации подземных вод. Поэтому можно упрощённо определить месторождение подземных вод (далее МПВ) как участок, в пределах которого по совокупности ряда причин предпочтительнее построить водозабор. Объективности ради надо отметить, что большинство этих причин имеет «гидрогеологический» характер: более высокие фильтрационные свойства водовмещающих пород по сравнению с окружающими площадями, оптимальное положение по отношению к гидрогеодинамическим границам, наиболее благоприятные условия для сохранения качества воды при длительной работе водозабора и т.д.

ОЦЕНКА: на этой стадии, как правило, предпринимается достаточный комплекс полевых работ, целью которого является получение необходимых параметрических характеристик для пока ещё ориентировочного подсчёта – достаточно ли выявленного месторождения для удовлетворения заявленной потребности или следует расширить область поисков для выявления дополнительных участков (или самостоятельных месторождений).

РАЗВЕДКА: основная (по смыслу и по материальным и интеллектуальным затратам) стадия ПРР. В её рамках реализуется самый широкий комплекс полевых гидрогеологических исследований в соответствии с особенностями гидрогеологического строения разведываемого МПВ. Основные цели на этой стадии работ:

- уточнение контура месторождения (точнее, площади, в пределах которой действуют, по мнению исполнителя, основные балансообразующие механизмы, обеспечивающие дебит будущего водозабора),
- получение достаточного (по количеству) и достоверного (по качеству) комплекса гидрогеодинамических параметров, обеспечивающего адекватную балансовую, фильтрационную и миграционную схематизацию гидрогеологических условий месторождения,
- обоснование выбора «водозаборного участка» (это локальная площадь внутри месторождения, где наиболее выгодно расположить водозахватные устройства),



- детальное изучение площади «водозаборного участка» для обоснования схемы размещения и конструкции водозахватных устройств,
- окончательный подсчёт ЭЗ, то есть выполнение системы расчётов, обосновывающих возможность получения заявленной производительности с помощью предлагаемой схемы и конструкции водозабора (при соблюдении заданных ограничений по режиму и условиям эксплуатации),
- обоснование качества добываемой воды на расчётный срок, местоположения и размеров зоны санитарной охраны водозабора,
- обоснование схемы мониторинга при эксплуатации водозаборного сооружения и др.

Отчёт о выполненных ПРР проходит процедуру защиты (с экспертизой на территориальном или федеральном уровне); протокол утверждения подсчёта эксплуатационных запасов является основанием для выполнения проектирования водозаборного сооружения, его строительства и передачи в эксплуатацию.

Эксплуатация водозаборного сооружения в течение расчётного срока рассматривается в организационном смысле как очередная стадия разведочных работ – **ОСВОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ** (эксплуатационная разведка). Методически работы на этой стадии заключаются в осуществлении многолетних наблюдений на специально обоснованной системе *мониторинга* действующего МПВ; целью исследований является *переоценка* ЭЗ на основе опыта эксплуатации водозаборного сооружения (возможно – с оптимизацией системы водоотбора).

Для целей водохозяйственного учёта и оценки перспектив дальнейшего изучения и использования общая сумма утверждаемых эксплуатационных запасов разбивается на несколько категорий, отвечающих различной степени геолого-гидрогеологической изученности. В свою очередь, целесообразность достижения той или иной степени изученности определяется сложностью гидрогеологических, водохозяйственных, геоэкологических и горно-геологических условий месторождения. В настоящее время предлагается использовать четыре градации группировки месторождений по перечисленным условиям: 1 – простые, 2 – сложные, 3 – весьма сложные, 4 – исключительно сложные.

Запасы категории А («освоенные») выделяются при переоценке запасов освоенных месторождений по среднегодовой производительности действующих водозаборных сооружений на предшествующем периоде эксплуатации.

Запасы категории В («разведанные») выделяются преимущественно на месторождениях 1-й и 2-й группы сложности и основываются на достаточных и достоверных данных разведочных работ, позволяющих надёжно оценить источники формирования ЭЗ, обосновать прогноз качества воды, размер и положение зоны санитарной охраны и влияние водозабора на окружающую среду.

Запасы категории С₁ («предварительно оцененные») выделяются на вновь выявленных и оцененных месторождениях независимо от группы сложности



условий. Данные поисково-оценочных работ должны обеспечивать (применительно к предварительной схеме проектного водозаборного сооружения) ориентировочную оценку источников формирования ЭЗ, качества воды, предварительное обоснование зоны санитарной охраны и влияния отбора подземных вод на окружающую среду.

Запасы категории C_2 («выявленные») также выделяются на вновь выявленных и оцененных месторождениях (независимо от группы сложности условий) и отличаются от C_1 условной схемой водозаборных сооружений и ограниченностью поисковых данных, позволяющих выполнить лишь приближённые расчёты или использовать аналогию с разведанными и разрабатываемыми месторождениями подземных вод.

Прогнозные ресурсы категории P_1 учитывают возможность увеличения запасов на разведанных или оцененных месторождениях подземных вод и рассчитываются применительно к обобщённым условным схемам водозаборов различной конструкции.

Прогнозные ресурсы категории P_2 учитывают возможность выявления месторождений подземных вод по результатам среднемасштабных гидрогеологических съёмок и другой информации и оцениваются применительно к обобщённым схемам водозаборных сооружений расчётным или экспертным путём.

Прогнозные ресурсы категории P_3 учитывают потенциальную возможность выявления перспективных участков недр для постановки поисковых и поисково-оценочных работ. Их количественный подсчёт проводится без привязки к конкретным объектам и используется для оценки общей обеспеченности территорий ресурсами подземных вод, разработки схем комплексного использования и охраны водных объектов.

Принципы категоризации запасов и ресурсов подземных вод изложены схематично. Более детальное их рассмотрение здесь вряд ли целесообразно, поскольку они не имеют какого-либо содержательного гидрогеологического смысла. Система учёта освоенных, разведанных, выявленных и потенциальных количеств подземных вод регулярно пересматривается и совершенствуется, поэтому специалист, работающий в области поисков и разведки подземных вод, должен владеть соответствующими методическими и нормативными документами на момент производства работ и руководствоваться ими.

Надо понимать, что изложенная логическая схема стадийной организации ПРР (примерно так она закреплена и в действующих инструктивных документах) является в определённой мере идеальной и в полном виде выполняется редко. Для большинства регионов отсутствуют пригодные к практическому использованию данные региональных оценок; огромное количество действующих водозаборов работают на «неутверждённых запасах», то есть не имеют должного гидрогеодинамического и гидрогеохимического обоснования. В ряде случаев объединяют стадии поисков и оценки, но в любом случае по мере появления новых данных (в первую очередь – параметрических) на любой стадии работ гидрогеолог постоянно должен оперативно выполнять комплекс доступных расчётов, позволяющих корректировать содержание и направленность текущих исследований.



Вернёмся теперь к общей постановке задачи оценки эксплуатационных запасов подземных вод. По определению, к эксплуатационным запасам может быть отнесено только то количество воды, при отборе которого выполняется ряд исходных условий (ограничений). Эти условия таковы:

- водозаборное сооружение должно быть *рациональным* в геологическом и технико-экономическом отношении;
- понижения уровней подземных вод в водозаборных скважинах (а в особых случаях – и на отдельных участках зоны влияния водозабора) не должно превышать допустимой величины;
- водозабор должен рассчитываться на определённый *срок* непрерывной работы и на определённый *режим* эксплуатации (постоянный, периодический и др.);
- *качество* воды (с учётом возможной водоподготовки) в течение всего срока работы водозабора должно отвечать нормативам для хозяйственно-питьевого водоснабжения;
- *экологические последствия* водоотбора должны быть минимальными (точнее, допустимыми).



Рассмотрим подробнее смысл и содержание этих условий.

Водозахватные устройства в составе водозаборных сооружений в зависимости от строения разреза и условий залегания основного горизонта могут быть разного типа: а) каптаж естественных выходов подземных вод на дневную поверхность, б) подземные водосборные дрены, галереи, штольни, в) шахтные колодцы, г) лучевые водозаборы (комбинация шахтного колодца с горизонтальными скважинами), д) вертикальные скважины.

Далее в нашем курсе будем предполагать, что водозабор устроен из вертикальных скважин с насосным водоподъёмом (эта система технологически наиболее разработана и широко применяется во всем мире). Необходимыми элементами схемы такого водозабора (рис.1.1) являются: а) собственно водозаборные скважины (станции I-го подъёма), б) сборный водовод в пределах водозаборного участка, в) сооружения водоподготовки и регулирования подачи воды, г) магистральный водовод к объекту водоснабжения (со станциями II-го...n-го подъёма для поддержания энергии потока).

РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВОДОЗАБОР предполагает минимум затрат:

– *Капитальные затраты* (стоимость строительства сооружения) – в основном, определяются длиной магистрального водовода (от водозабора до объекта водоснабжения); в меньшей степени – количеством скважин, их глубиной и конструкцией.

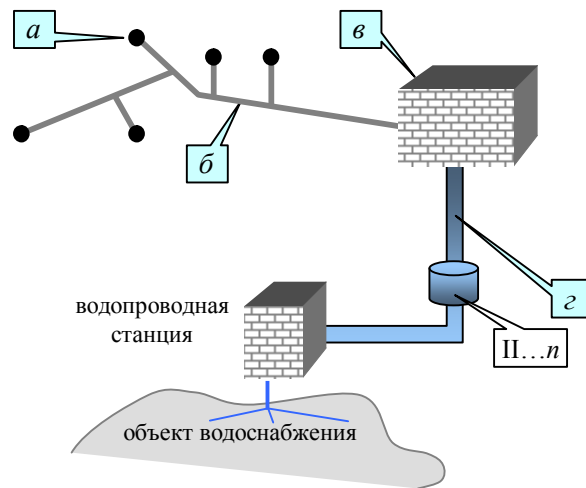


Рис.1.1. Принципиальная схема водозабора

– *Эксплуатационные затраты* (стоимость эксплуатации) включают:

- 1) энергозатраты на I-й подъём, поэтому важны количество скважин и глубина динамического (пониженного) уровня;
- 2) энергозатраты на перегон воды по магистральному водоводу, которые зависят от длины водовода, рельефа по его трассе и суммарного дебита;
- 3) затраты на водоподготовку, зависящие от суммарного дебита и необходимых технологий водоподготовки.

Исходя из этих соображений, рациональный водозабор должен быть расположен как можно ближе к водопотребителю и содержать минимальное количество относительно неглубоких эксплуатационных скважин.

От чего зависит количество скважин? Обычно исходят из одинакового дебита скважин Q_c (однотипное насосное оборудование); следовательно

$$n = \frac{Q_{\text{заявл}}}{Q_c}.$$

Очевидно, что минимизация количества скважин достигается за счёт максимальной нагрузки на каждую из них. От чего зависит Q_c ? Например, при квазистационарном режиме в однородном неограниченном изолированном пласте (классическая «схема Тейса») понижение в скважине на текущий момент времени t от начала эксплуатации составляет:



$$S_c = \frac{Q_c}{4\pi T} \ln \frac{2.25at}{r_c^2} \rightarrow Q_c = \frac{4\pi T S_c}{\ln \frac{2.25at}{r_c^2}},$$

то есть максимальный дебит достигается: а) при расположении скважины в области с наиболее высокими значениями проводимости T и, напротив, б) при низких величинах уровне(пьезо)проводности a (то есть при высокой водоотдаче), в) при возможности допустить значительные понижения уровня. Кроме того, важен и радиус водоприёмной части (фильтра) скважины r_c . При этом имеется в виду как технический радиус (он меняется непринципиально, чаще всего в диапазоне 8–16"), так и расчётный (учитывающий различия проницаемости пласта и прифильтровой зоны, возникшие за счёт технологии бурения и в процессе освоения скважины) – а вот он может отличаться от технического на несколько порядков в сторону уменьшения! Поэтому в практике строительства водозаборных скважин применяют различные методы увеличения проницаемости прифильтровой зоны (простреливание, торпедирование, гидроразрыв, соляно-кислотная обработка и т.п.), чтобы увеличить расчётный радиус скважины.



Однако, величина возможной производительности водозаборных скважин имеет ограничения:

- производительность серийно выпускаемых насосов (она не бесконечна, изменяется ступенчато, зависит от высоты подъёма воды);
- скорость потока на стенке скважины не должна превышать некоторых критических значений для конкретного типа водовмещающих пород, чтобы избежать развития процессов суффозии, активизации карста, просадок земной поверхности, аварийных деформаций обсадных колонн и др.);
- понижение уровня в самой водозаборной скважине лимитируется некоторой допустимой величиной (об этом ниже);
- наконец, если водозабор групповой, то часть возможного понижения в каждой скважине будет «срезана» взаимодействием с соседними скважинами (это тоже обсуждается позже).

ДОПУСТИМОЕ Понижение уровня в водозаборе $S_{\text{доп}}$

Ограничение величины понижения уровня в водозаборе преследует две цели:

Во-первых, в скважине всегда должен оставаться столб воды, достаточный для размещения погружного насосного оборудования и отстойника (датчик «сухого хода» обычно устанавливается на 2 м выше верхнего фланца насоса).

Во-вторых, при эксплуатации грунтовых водоносных горизонтов по мере развития понижения происходит уменьшение их мощности и соответствующее постепенное *уменьшение проводимости* горизонта. Следовательно, будет возрастать темп и величина снижения уровней. Чтобы не допустить прогрессирующего, «обвального» перепонижения уровней, рекомендуется сохранять в зоне водозаборной скважины не менее 30-50% начальной проводимости, то есть принимать расчётную величину допустимого понижения порядка $S_{\text{доп}} = (0.5 - 0.7)h_0$, где h_0 – начальная, ненарушенная мощность потока в зоне эксплуатационных скважин (рис.1.2, а).

Однако, такой подход правомерен только для однородных по вертикали пластов, когда кумулята проводимости имеет вид прямой линии (рис.1.2, б). Более вероятно, что водоносные пласты имеют неоднородное (иногда – достаточно контрастное) строение по вертикали – слоистость в рыхлых четвертичных отложениях, карстовые коллекторы и др. В таких случаях величина допустимого понижения должна назначаться на основе разведанной формы кумуляты проводимости (например, по результатам расходометрических испытаний в скважинах) – из условия, чтобы остаточная проводимость пласта в зоне скважины составляла не менее $(0.3 - 0.5) T_0$ (рис.1.3 а,б).

Для напорных (межпластовых) горизонтов допустимой является величина понижения в пределах избыточного напора над кровлей пласта – в этом интервале снижения пьезометрического уровня проводимость эксплуатируемого пласта не меняется (рис. 1.4). Если же эта величина недостаточна, то допускается переход к безнапорному режиму с использованием ещё $(0.5 - 0.7)m$.

Подчеркнём, что величина допустимого понижения в водозаборных скважинах не является нормативным ограничением – его для себя устанавливает сам гидрогеолог, исходя из условий залегания продуктивного горизонта в разрезе.



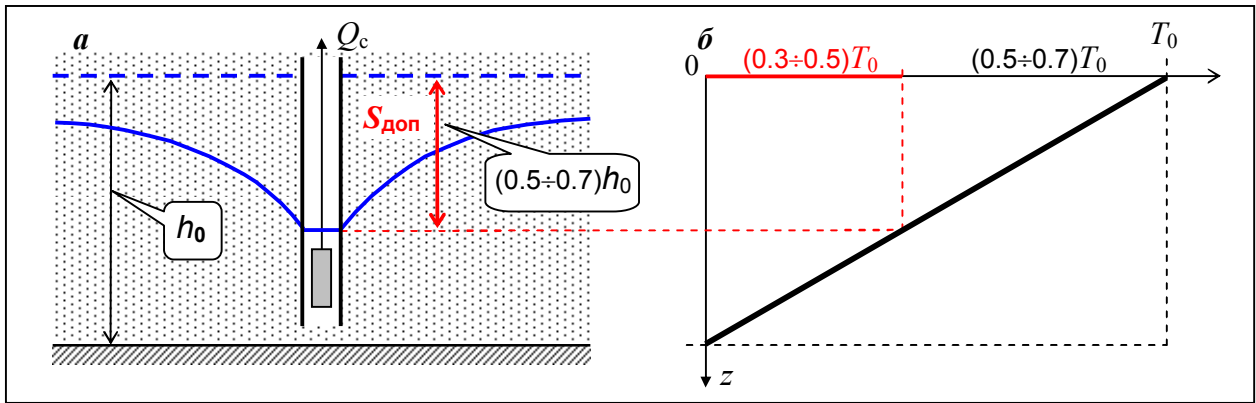


Рис. 1.2. Допустимое понижение уровня (а) и форма кумуляты проводимости (б) в однородном по вертикали безнапорном пласте

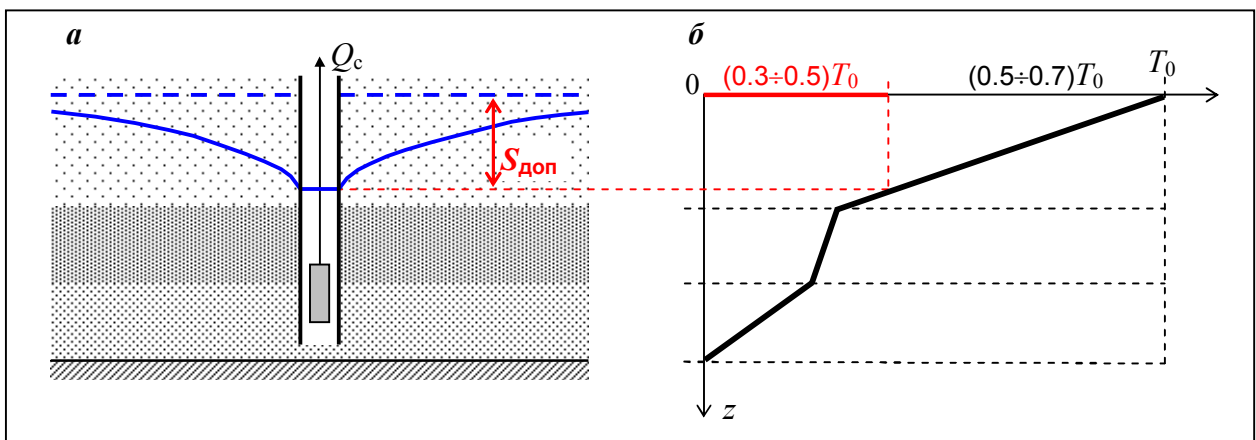


Рис. 1.3. Допустимое понижение уровня (а) и форма кумуляты проводимости (б) в неоднородном по вертикали безнапорном пласте

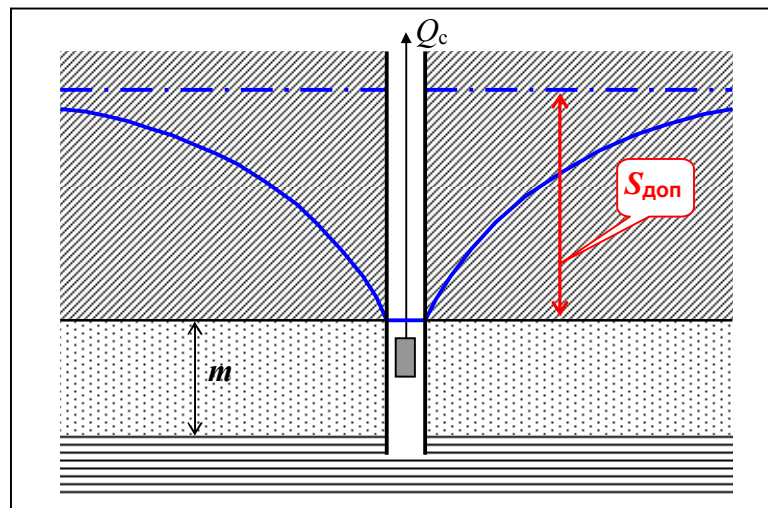


Рис. 1.4. Допустимое понижение уровня для межпластового водоносного горизонта

РАСЧЁТНЫЙ СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ – это продолжительность времени, в течение которого водозабор должен работать с дебитом $Q_{\text{заявл}}$. Обычно (если не оговорено иное) используют так называемый *амортизационный* срок 25 лет (9 125 суток) – это примерно соответствует времени работы конструктивных элементов скважин и водоподъёмного оборудования до капитального ремонта.

Однако, могут быть заданы и особые варианты:

– водозаборы в системах централизованного водоснабжения крупных городов нередко рассчитываются на 50 лет и даже на условно «неограниченный» срок (если при разведке доказана возможность стационарного режима фильтрации при эксплуатации);

– *временные* водозаборы (например, строительные 3-5-10 лет, особого назначения и др.);

– в ряде случаев при оценке ЭЗ оговаривается *прерывистый* (периодический или иной) режим эксплуатации водозабора – для нужд орошения в вегетационный период (3-4 месяца в году); на предприятиях розлива питьевой воды; для покрытия пиков водопотребления с внутригодовой, внутринедельной и даже внутрисуточной периодичностью, для компенсации производительности поверхностных водозаборов в дефицитные периоды речного стока и т.д.);

– особое место занимают *резервные* водозаборы, создаваемые для относительно крупных городов на случай природных или техногенных чрезвычайных ситуаций – для них устанавливается расчётный срок работы 10-30 суток или иной в зависимости от местных условий.

СОХРАНЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ в пределах действующих нормативов в течение всего расчётного срока – вполне понятное требование, не требующее комментариев. Его содержание будем рассматривать подробнее позже.

Наконец, особенно в последние годы, особое внимание уделяется ограничениям по **ВОЗДЕЙСТВИЮ ВОДООТБОРА НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ**. Формы и масштабы этого воздействия различны в разных условиях; назовем, например:

– нарушение влажностного режима приповерхностных слоёв земной коры (деградация почв, иссушение сельхозземель, развитие ветровой эрозии, «пыльные бури»),

– нарушение общего водного баланса территорий, особенно в районах массивного водоотбора (уменьшение водности рек, осушение озёр, болот),

– сопутствующие изменения ландшафтов (растительные и животные сообщества),



- нарушения геомеханического характера (просадка земной поверхности – примеры известны, возникновение суффозии, активизация карста),
- переформирование криогенной обстановки в районах развития многолетней мерзлоты и т.п.

Таким образом, собственно гидрогеологическое содержание проблемы оценки ЭЗ подземных вод может быть сведено к необходимости количественного обеспечения трёх прогнозных положений:



- 1) обоснование связи дебита водозабора и понижения уровней в нём – надо иметь параметрическую основу для того, чтобы при заданном заявленном дебите и ограниченном допустимом понижении рассчитать оптимальную схему водозабора (сколько скважин, с какой производительностью, на каких расстояниях и т.д.);
- 2) обоснование тенденции изменения показателей качества извлекаемой воды за расчётный срок;
- 3) обоснование изменений условий взаимосвязи эксплуатируемого водоносного горизонта со смежными элементами окружающей среды.