

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет  
им. Н.Г. Чернышевского»

Кафедра гидрогеологии и инженерной геологии

**КУРС ЛЕКЦИЙ**

**ПО ПОИСКАМ И РАЗВЕДКЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Автор: ст.препод. кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Хохлов А.Е.

2011г.

### **Аннотация**

Курс лекций составлен по материалам методического пособия Биндемана Н.Н. Чтение этого курса предполагает ознакомление студентов с приемами проведения геологоразведочных работ при поисках и разведке месторождений подземных вод.

В курсе дается описание различных типов гидрогеологических условий, к которым могут быть приурочены месторождения подземных вод. Описаны особенности проведения разведки применительно к различным типам месторождений. Отдельно рассматривается современная нормативная база регламентирующая этапы и объемы проводимых работ, оценивается эффективность использования различных методов геологоразведки в гидрогеологии.

Этот курс лекций рекомендуется слушать на курсах «Динамика подземных вод», «Методика поисков и разведки подземных вод» «Гидрогеология» «Технология бурения скважин на воду», «Технология геологоразведочных работ».

## **Введение**

Пресные подземные воды представляют собой одно из важнейших полезных ископаемых, в широких масштабах используемое для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения, орошения сельскохозяйственных угодий и для других целей.

В связи с постоянно возрастающим развитием промышленного производства в нашей стране, ростом городов и улучшением культурно-бытовых условий населения из года в год увеличивается использование пресных подземных вод и соответственно растут затраты на их поиски и разведку.

### **Стадийность геологоразведочных работ**

**Предварительная разведка.** На стадии предварительной разведки выясняются основные вопросы геологического строения и гидрогеологических условий перспективной площади, дается общая оценка ее естественных водных ресурсов и производится подсчет эксплуатационных запасов подземных вод в основном по низким категориям в целом по площади. На крупных месторождениях подземных вод и больших площадях распространения перспективных водоносных горизонтов, запасы подземных вод которых во много раз превышают требуемое их количество, предварительной разведке подвергается не вся площадь, а лишь участки, наиболее близко расположенные к объекту водопотребления и характеризующиеся наиболее благоприятными гидрогеологическими условиями и технико-экономическими показателями строительства и эксплуатации водозабора. Количество участков, на которых одновременно проводится предварительная разведка, зависит от потребного количества воды и степени водоносности участков, установленной на стадии поисковых работ.

В состав предварительной разведки грунтовых и неглубоко залегающих напорных вод входят следующие виды работ: гидрогеологическая съемка, буровые работы, геофизические исследования, пробные и опытные откачки, наблюдения за режимом подземных вод, лабораторные работы и в необходимых случаях гидрометрические работы.

Гидрогеологическая съемка производится только в сложных гидрогеологических условиях и в тех преимущественно случаях, когда оцениваемый основной водоносный горизонт залегает неглубоко от поверхности, что дает возможность выявить изменение минерализации воды, области его распространения, питания и дренирования. В зависимости от размеров разведываемой территории масштаб съемки изменяется от 1:50000 до 1:25 000. Съемка сопровождается соответствующим объемом буровых и горных работ.

По материалам гидрогеологической съемки намечаются места бурения разведочных скважин, участки для проведения геофизических исследований и наблюдений за режимом подземных вод.

Буровые работы, выполняемые на стадии предварительной разведки, состоят из бурения разведочных и наблюдательных скважин. Разведочное бурение проводится для уточнения геологического строения участка, условий залегания, мощности и состава водоносных пород и разделяющих их водонепроницаемых толщ. Устанавливаются уровни и напоры воды водоносных горизонтов, химический состав подземных вод.

Диаметры разведочных скважин должны допускать производство из них пробных откачек. Диаметры скважин, из которых намечается проведение опытных откачек, должны обеспечивать возможность применения достаточно мощных насосов. Опытные откачки на этой стадии работ проводятся для определения гидрогеологических параметров водоносного пласта (коэффициентов фильтрации, уровнеспроводности, пьезопроводности).

Для изучения химического состава подземных вод производятся сокращенные и полные химические анализы, а также определения содержания вредных компонентов (медь, цинк, свинец, мышьяк, радиоактивные элементы, фтор, фенол и др.)- Производятся также бактериологические анализы. В случае необходимости на стадии предварительной разведки проводятся геофизические исследования для установления и оконтуривания зон повышенной водоносности пород в плане и разрезе, уточнения залегания водоупорных

кровли и подошвы водоносных горизонтов, границы пресных и минерализованных вод.

Если поверхностные воды участвуют в восполнении эксплуатационных запасов подземных вод, то должны проводиться гидрометрические работы для получения данных об условиях питания водоносного горизонта в различные периоды года.

При предварительной разведке глубоко залегающих водоносных горизонтов в состав работ включается бурение одиночных разведочных скважин, геофизические исследования разрезов скважин и производство пробных и опытных откачек в скважинах из наиболее перспективных водоносных горизонтов с отбором проб воды на анализы.

В районах с простыми гидрогеологическими условиями и хорошо изученных, где ресурсы подземных вод заведомо превышают потребность в воде, а участок под детальную разведку и водозабор может быть выбран по имеющимся материалам, предварительная разведка может не производиться.

**Детальная разведка.** По материалам предварительной разведки, путем сравнения различных участков возможного расположения водозаборов, производится выбор наиболее благоприятного из них с учетом как гидрогеологических условий, так и технико-экономических показателей, намечается схема водозабора и применительно к ней определяются объем и характер детальной разведки, методика ее проведения, в частности определяются наиболее рациональное размещение разведочных выработок и расстояния между ними, глубина разведки, объем и характер опытных гидрогеологических, геофизических, гидрометрических, режимных, лабораторных и других исследований.

Местоположение и размеры участков под детальную разведку определяются с учетом количества потребной воды и требований к ее качеству, согласовываются с водопотребителем, а в случае намечаемого использования вод для хозяйственно-питьевых целей — также и с органами санитарного надзора в отношении возможности установления зон санитарной охраны. В тех случаях, когда на площади участка, выбранного под детальную разведку, или в зоне влияния намечаемого водозабора расположены жилые строения, промышленные сооружения, скотоводческие фермы и другие предприятия, сточные воды которых могут являться источником загрязнения исследуемых вод, вопрос о возможности и целесообразности их переноса или уничтожения должен быть согласован с соответствующими местными государственными органами до начала детальной разведки.

В процессе детальной разведки производится изучение намеченного под водозабор участка с детальностью, обеспечивающей подсчет эксплуатационных запасов подземных вод по высоким категориям в требуемом их соотношении и получении материалов для проектирования новых водозаборных сооружений или расширения существующих водозаборов. Если потребность в воде того или иного объекта выражается большими величинами, то с целью предупреждения преждевременных затрат на разведку следует определить очередность удовлетворения водопотребности и соответственно этому установить очередность ввода в детальную разведку отдельных частей месторождения или отдельных его участков для выявления запасов высоких категорий для I очереди строительства водозабора, для II очереди и т. д. В таких случаях детальная разведка может ограничиваться объектами, намечаемыми только для первоочередного использования. Например, при наличии ряда изолированных друг от друга водоносных горизонтов, залегающих на различных глубинах, при детальной разведке наиболее тщательно могут быть изучены только верхние, или имеющие наибольшее практическое значение, горизонты и запасы по ним подсчитаны в основном по высоким категориям; по нижним, или второстепенным, водоносным горизонтам разведка и опробование могут быть проведены в меньшем объеме, позволяющем оценить по ним запасы только по низким категориям с тем, чтобы в будущем их доразведать для строительства II очереди водозабора.

При детальной разведке намечаемого под водозабор участка производится специализированное обследование участка водозабора и непосредственно прилегающей к нему территории с бурением разведочных, разведочно-эксплуатационных и

наблюдательных скважин. Кроме того, проводятся гидрометрические работы, наблюдения за режимом подземных вод, а также откачки из скважин, приобретающие при детальной разведке основной, главный вид гидрогеологических работ.

На стадии детальной разведки буровые скважины закладываются применительно к намеченной схеме водозабора. Диаметр разведочно-эксплуатационных скважин выбирается таким, чтобы эти скважины можно было использовать при эксплуатации подземных вод.

Опытные откачки проводятся из всех разведочных и разведочно-эксплуатационных скважин и имеют целью уточнение значений гидрогеологических параметров водоносных пластов, зависимостей между дебитом и понижением уровня воды и величин срезок для расчетов взаимодействия скважин; соответственно назначению откачки могут быть проведены из отдельных или одновременно из группы скважин (одиночные, кустовые, групповые).

Во всех пробуренных на участке намечаемого водозабора разведочных и разведочно-эксплуатационных скважинах, вскрывших трещиноватые или закарстованные водовмещающие породы, производится комплекс геофизических исследований для установления мощности и степени водоносности этих пород. Применение комплекса геофизических исследований является совершенно обязательным при бурении глубоких скважин (роторных, турбинных); в этих случаях геофизические исследования наряду с обычными способами документации и наблюдений при бурении скважин могут оказаться основными для определения мощности, состава и водопроводящих свойств водовмещающих пород. Геофизические исследования в скважинах предшествуют опытным откачкам или выпускам.

При разведке месторождений подземных вод или участков, расположенных в долинах рек, должны быть проведены гидрометрические работы для установления расхода поверхностных вод, а также степени взаимосвязи поверхностных вод с подземными.

Изучение физических свойств, химического состава и бактериологического состояния подземных и поверхностных вод должно быть достаточным для освещения качества отбираемых вод во времени как непосредственно на участке намечаемого водозабора, так и при разнородном составе подземных вод — в соседних с ним зонах (по площади и в разрезе).

По материалам обследования и данным, полученным при разведке, составляются гидрогеологические карты (гидроизогипс, гидрохимическая, глубин залегания подземных вод и т. п.) разведанного участка в масштабе 1:5000—1:10 000 или 1:25 000 на инструментальной топографической основе соответствующего масштаба. На них наносятся (в соответствии с содержанием карты) все скважины и источники, для которых необходимо определить координаты в принятой для топоосновы системе; последние должны быть сведены в специальные ведомости. На карты наносятся также промышленные объекты, населенные пункты и другие объекты, которые могут служить источником загрязнения оцениваемого водоносного горизонта.

При разведке на участках действующих водозаборов (для их расширения или реконструкции) должны быть организованы наблюдения за режимом их работы, а также заложены наблюдательные скважины для установления глубины и границ распространения в плане депрессионной воронки, вызванной эксплуатацией подземных вод.

### **КАТЕГОРИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ**

Использование подземных вод в народном хозяйстве нашей страны регламентируется правительственными органами. МПР России от 22 декабря 2007 г. установлено, что с 1 октября 2009 г. проектирование и строительство новых и расширение действующих предприятий, связанных с использованием подземных вод, возможно только при наличии утвержденных запасов подземных вод Государственной или территориальными комиссиями по запасам полезных ископаемых. Без утверждения запасов проектирование и строительство разрешено только в тех случаях, когда объем проектируемых капиталовложений на устройство водозаборов и каптажей не превышает 500 тыс. рублей,

а для объектов железнодорожного транспорта— 10 млн. рублей( в современных ценах).

Постановлением коллегии МПР России от 12 августа 2007 г. установлены основные положения действующей в настоящее время классификации эксплуатационных запасов подземных вод. Согласно этим положениям: 1) по народнохозяйственному значению запасы подземных вод подразделяются на две группы: балансовые и забалансовые; 2) в зависимости от степени разведанности, изученности, качества и условий разработки запасы подразделяются на четыре категории: А, В, С<sub>1</sub> и С<sub>г</sub>; 3) составление проектов и выделение капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию действующих водозаборных сооружений и предприятий, использующих подземные воды, производятся при наличии утвержденных Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых (ГКЗ при СМ СССР) или в соответствующих случаях территориальными комиссиями по запасам полезных ископаемых (ТКЗ) эксплуатационных запасов подземных вод категорий А и В, при этом запасы кат. А должны составлять не менее 50% этого количества; 4) возможность проектирования и строительства водозаборных сооружений при наличии меньших количеств запасов кат. А или В против количеств, определяемых указанным выше соотношением, устанавливается ГКЗ (или в соответствующих случаях ТКЗ) при утверждении запасов; 5) в процессе проектирования при определении возможных перспектив расширения водозаборных сооружений должны учитываться запасы подземных вод кат. С.

Под балансовыми понимаются запасы, использование которых экономически целесообразно и которые должны удовлетворять условиям, т. е. требованиям к качеству вод для данного назначения и заданным условиям режима эксплуатации, под забалансовыми — запасы, использование которых в настоящее время экономически нецелесообразно: из-за малого количества, несоответствия качества заданному назначению, особо сложных условий эксплуатации или технологии извлечения ценных компонентов. Однако они могут рассматриваться как объект использования в будущем.

## ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

### ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Разведка подземных вод должна проводиться в тесной увязке с методикой оценки эксплуатационных запасов.

Оценка запасов формально является элементом камеральной обработки материалов, однако если гидрогеолог не задумается заранее, каким методом и по какой расчетной схеме ему предстоит оценивать запасы, это неизбежно приведет либо к излишествам, либо к недостаточности выполнения разведочных работ.

На основании данных поисковых работ, а при достаточной изученности района — по данным архивных и литературных материалов можно, как правило, составить необходимое представление о геологическом строении и гидрогеологических условиях района для того, чтобы наметить метод оценки запасов и расчетную схему, которая должна уточняться и может даже радикально пересматриваться по мере накопления материалов в процессе разведки.

В данном руководстве представляется целесообразным остановиться на некоторых общих вопросах методики оценки эксплуатационных запасов.

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод заключается в получении доказательств возможности эксплуатации подземных вод при заданном дебите водозабора и удовлетворяющем потребителя качестве воды в течение определенного срока его работы (принимается обычно 25—30 лет) или неограниченно долгое время. Эта задача в конечном итоге сводится к прогнозу понижений динамических уровней воды в скважинах водозабора.

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод производится следующими методами: 1) гидродинамическими; 2) гидравлическими; 3) балансовыми. Ниже приводится краткая характеристика этих методов, их относительных достоинств и недостатков, а также

даются рекомендации по совместному применению этих методов (что наиболее эффективно) в различных гидрогеологических условиях.

### ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод гидродинамическими методами заключается в расчетах по соответствующим формулам, выведенным из основных уравнений математической физики и теоретической гидродинамики, а также путем моделирования на аналоговых машинах.

Основным достоинством гидродинамических методов является возможность прогнозировать изменение динамических уровней воды в скважинах водозабора в процессе его эксплуатации, т. е. получить доказательство обеспеченности эксплуатационных запасов во времени.

Дифференциальные уравнения гидродинамики учитывают сопротивления движению воды в пласте и водный баланс в каждом бесконечно малом элементе потока, а при интегрировании — в потоке в целом в пределах заданных границ. Поскольку эти уравнения одновременно являются и динамическими и балансовыми, формулы гидродинамики учитывают баланс подземных вод и, в частности, возобновляемость запасов в естественных и эксплуатационных условиях.

Граничные условия характеризуют связь водоносного пласта с окружающей средой (атмосферой, поверхностными водами, покрывающими и подстилающими пластами). Тип граничных условий определяет закономерности режима подземных вод в районе водозабора, скорость снижения уровней воды в скважинах водозабора во времени, взаимодействие скважин группового водозабора и пр. Не зная граничных условий, невозможно оценить обеспеченность запасов на тот или иной срок их использования или на неограниченно долгий срок эксплуатации.

Ниже рассмотрены основные типы граничных условий водоносных пластов под углом зрения их влияния на формирование депрессионных воронок и эксплуатационные запасы подземных вод.

Следует различать границы водоносного пласта в разрезе (верхние и нижние границы пласта) и в плане (контуры пласта).

На верхней границе водоносного пласта различают, как известно, напорные и безнапорные (со свободной поверхностью) подземные воды. Принципиальным отличием этих видов границ является то, что при эксплуатации водозабора в безнапорных водах всегда происходит то или иное осушение пласта, поэтому мощность пласта уменьшается. Если пласт неоднороден, то при его осушении происходит изменение средней величины коэффициента фильтрации. Депрессия, создаваемая откачкой, распространяется в напорных водах значительно быстрее, чем в безнапорных водах.

На верхней границе водоносного пласта со свободной поверхностью подземных вод могут иметь место следующие условия: 1) питание инфильтрацией атмосферных осадков; 2) испарение с поверхности подземных вод; 3) отсутствие питания и испарения.

В первом и третьем случаях условия на поверхности подземных вод при эксплуатации сохраняются, во втором — могут измениться, так как при образовании депрессионной воронки происходит увеличение глубины залегания подземных вод, что может привести к уменьшению или прекращению испарения.

Если условия на поверхности подземных вод при эксплуатации не изменяются, то депрессия с течением времени распространяется до контура водоносного пласта, после чего в зависимости от характера этого контура движение продолжает оставаться неустановившимся и динамические уровни в скважинах снижаются или происходит стабилизация.

В тех случаях, когда испарение с поверхности грунтовых вод при эксплуатации уменьшается, то, независимо от характера контура пласта, может произойти стабилизация депрессионной воронки (если уменьшение расхода воды на испарение станет равным дебиту водозабора).

Подобные условия особенно типичны для аридной зоны, но встречаются и в областях избыточного увлажнения. Так, на широких и плоских междуречных пространствах в

области развития зандровых песков грунтовые воды на ряде участков залегают весьма близко от поверхности земли. Вследствие малой мощности зоны аэрации в летний период значительное количество грунтовых вод испаряется. При эксплуатации водозабора освобождается емкость, которая может заполняться просачивающейся водой, до этого бесполезно расходовавшейся на испарение.

На нижней границе водоносного пласта со свободной поверхностью, а также в кровле и подошве пласта, к которому приурочены напорные воды, могут быть два типа граничных условий: 1) ограничивающий слой водоносного пласта практически непроницаем; 2) ограничивающий слой в той или иной мере проницаем и через него осуществляется гидравлическая связь с другим водоносным горизонтом.

Случаи абсолютной непроницаемости кровли или подошвы водоносных горизонтов, т. е. полной изоляции их от выше- и нижерасположенных горизонтов, являются в природе скорее исключением, чем правилом. Они относятся главным образом к глубоко залегающим горизонтам, ограниченными мощными пластами глин, сильно уплотненными давлением вышележащих пород. В зоне активного водообмена, представляющей наибольший интерес для водоснабжения благодаря хорошему качеству подземных вод, преобладают условия, при которых водообмен по вертикали возможен. Примерами могут служить водоносные горизонты ледниковых отложений Белоруссии, водоносные горизонты третичных отложений Западно-Сибирской низменности и др.

В зависимости от соотношений напоров в рассматриваемом горизонте (который предполагается эксплуатировать) и смежных горизонтах в естественных условиях возможно подпитывание или, наоборот, потеря воды из данного горизонта в выше- или нижезалегающие водоносные горизонты. Важно заметить, что дебит водозабора, когда водоносный горизонт ограничен слабо проницаемыми слоями, а не «идеальными» водоупорами, будет при прочих равных условиях всегда больше. Если водоносный горизонт до эксплуатации получал подпитывание, то при его эксплуатации подпитывание усилится, так как перепад напоров возрастет. Если водоносный горизонт в естественных условиях отдавал воду в другой горизонт, то потеря воды из него при эксплуатации уменьшится или даже сменится питанием (в случае, когда пьезометрические отметки депрессионной поверхности окажутся ниже отметок напора в смежном водоносном горизонте). Следовательно, пренебрегая вертикальной взаимосвязью горизонтов и пользуясь при расчетах формулами, выведенными из предположения водонепроницаемости кровли и подошвы пласта, мы во всех случаях будем иметь некоторый «запас прочности» расчета водозабора.

Рост депрессионной воронки в условиях, когда возможно перетекание, происходит значительно медленнее, чем при изоляции горизонтов. Если напор воды в водоносном горизонте, из которого происходит перетекание, практически не изменяется, то понижения уровней воды в скважинах во времени стремятся к некоторому пределу, зависящему от соотношений коэффициентов фильтрации водоносного горизонта и разделяющих слоев, а также от их мощностей.

Наряду с положительным влиянием перетекания оно может приводить и к нежелательным последствиям, если водоносные горизонты, из которых при эксплуатации возникнет или усилится перетекание, содержат воду недопустимо высокой минерализации или вредные элементы.

Граничные условия в плане также оказывают весьма существенное влияние на величину эксплуатационных запасов подземных вод. Типизация этих граничных условий производится по признаку постоянства или изменения напора и расхода подземных вод на границе в условиях эксплуатации. До тех пор, пока депрессия, вызываемая эксплуатацией водозабора, не распространится до границ водоносного пласта, последние не влияют на режим подземных вод, и пласт может рассматриваться как практически неограниченный. Во многих случаях это условие соблюдается на весь период эксплуатации, применительно к которому и производится оценка эксплуатационных запасов подземных вод.

Если водоносный пласт примыкает к поверхностному водотоку или водоему, с которым подземные воды имеют непосредственную гидравлическую связь, то напор на границе



пласта определяется положением горизонта воды в реке, озере и т. п. и не изменяется при эксплуатации водозабора. Подобного рода граница называется границей с постоянным напором ( $H = \text{const}$ ), причем слово «постоянный» в данном случае надо понимать не в смысле неизменности напора во времени (напор меняется при изменении горизонта реки или озера), а в смысле его независимости от работы водозабора. Если река имеет меженный расход, меньший, чем дебит водозабора, то может происходить периодическое осушение ее русла, т. е. изменение граничного условия. Расход потока подземных вод на границе водоносного пласта при эксплуатации может изменяться не только по величине, но и по знаку. Так, если в естественных условиях поток грунтовых вод был направлен к реке, то при эксплуатации водозабора может возникнуть течение в противоположном направлении — от реки в глубь берега.

Другой тип границы характеризуется примыканием водоносного пласта к водоупорным породам. В этих условиях под влиянием откачки напор на границе водоносного пласта будет понижаться, но расход подземных вод на границе не изменится ( $Q = \text{const}$ ). Представим себе, что с водоупорного цоколя из водоносного горизонта стекает вода и поступает в другой водоносный горизонт, не имеющий гидравлической связи с первым. Совершенно ясно, что откачка из нижнего водоносного горизонта не может изменить расхода потока на его границе. При отсутствии притока из вышерасположенного горизонта постоянный расход воды на границе пласта равен нулю. Этот «частный» случай является весьма распространенным в природе, так как обычно расход воды на водоупорной границе очень мал и им можно пренебречь.

Тип граничных условий оказывает решающее влияние на процесс формирования депрессионной воронки. Первое время, пока понижение уровня не распространилось до границы пласта, последние практически не влияют на формирование депрессионной воронки, и она развивается так же, как в неограниченном пласте. С течением времени влияние границ пласта все больше усиливается, причем оно принципиально различно в зависимости от того, являются ли границами реки (условие постоянства напора) или водоупорные породы (постоянство расхода).

В некоторых гидрогеологических условиях при эксплуатации водозабора изменяются и расход, и напор потока на границе. Такие условия свойственны, например, конусам выноса, сложенным в верхней части склона преимущественно галечниками, а в нижней — мелкозернистыми суглинистыми породами. Подземные воды в галечниках испытывают подпор, и на контакте с суглинками выходят источники. В процессе эксплуатации водозабора, расположенного вблизи выхода источников, дебит последних будет постепенно уменьшаться, т. е. расход потока на границе окажется переменным, при этом напор, соответствующий отметке выхода источников, сохранится. Однако через некоторое время источники могут иссякнуть; расход на границе станет равным нулю, а напор будет падать во времени. Следовательно, эксплуатация подземных вод конуса выноса сопровождается изменением на границе как расхода, так и напора подземных вод. При оценке эксплуатационных запасов подземных вод в описанных выше условиях необходимо учитывать расход естественного потока подземных вод.

Таким образом, можно различать четыре основных типа границ водоносного пласта в зависимости от изменения граничных условий при эксплуатации подземных вод:

- 1) напор и расход на границе постоянные (неограниченный пласт);
- 2) напор постоянный, расход изменяется;
- 3) напор изменяется, расход постоянный;
- 4) напор и расход изменяются.

В первых трех случаях при применении гидродинамических методов оценки запасов подземных вод нет необходимости оценивать отдельно питание подземных вод, так как установление положения депрессионной поверхности в естественных условиях, учитывающее это питание, достаточно для прогноза понижений динамических уровней воды в скважинах во времени. В четвертом случае, когда при эксплуатации изменяются и напор, и расход воды на границе, требуется помимо этого независимое определение питания водоносного горизонта или расхода подземного потока в естественных условиях.

Работа водозабора может находиться под влиянием одной, нескольких или всех границ, оконтуривающих область распространения водоносного пласта. При этом выделяются следующие основные типовые схемы граничных условий.

1. Снижение динамических уровней в процессе эксплуатации подчиняется логарифмической зависимости — неограниченные пласты.

2. На работу водозабора оказывает влияние только одна граница, остальные удалены за пределы возможного влияния откачки, а потому рассматриваются как находящиеся «в бесконечности». Такие пласты называются полуограниченными. Различают полуограниченные пласты с постоянным напором (реки, озера и т. п.) и с постоянным расходом (контакт с водоупорными породами). В первом случае через некоторое время происходит стабилизация динамических уровней (установившееся движение), во втором — уровни непрерывно снижаются во времени, по логарифмической зависимости, но в более быстром темпе, чем в неограниченном пласте.

3. Режим работы водозабора зависит от влияния двух более или менее параллельных границ, остальные две границы рассматриваются как бесконечно удаленные от водозабора, который располагается как бы в полосе (пласт-полоса). Различают три вида этих граничных условий: 1) пласт ограничен с двух сторон границами с постоянным напором (междуречье); 2) одна граница характеризуется постоянным напором, другая — постоянным расходом (терраса, ограниченная с одной стороны руслом реки, с другой — непроницаемыми коренными породами); 3) на обеих границах расход постоянный («сухие» долины Казахстана, лишённые постоянных водотоков и ограниченные непроницаемыми коренными породами).

В первом и во втором случаях через некоторое время наступает практически установившееся движение, в третьем — происходит понижение динамических уровней воды в скважинах, при этом более быстро, чем в неограниченном пласте (по параболической, а не по логарифмической зависимости).

4. При работе водозабора его влияние распространяется до всех границ водоносного пласта (ограниченный пласт). В ограниченном водоносном пласте влияние границ особенно резко.

Если пласт оконтурен границей с постоянным напором (участок поймы между рекой и старицей, остров), то движение подземных вод при их эксплуатации быстро становится установившимся. Наоборот, при ограничении пласта водоупорными породами (отдельные синклинальные и антиклинальные структуры Казахстана) понижение динамических уровней после распространения депрессии до границ пласта происходит с постоянной скоростью, т. е. не затухает во времени.

Установление типа граничных условий в разрезе и в плане является важнейшей задачей гидрогеологических съемок и разведок. Эта задача не менее важная, чем определение характеристик водоносного пласта, подземные воды которого предполагается эксплуатировать. При разведке необходимо изучать напоры и химический состав воды в поэтажно расположенных горизонтах, если имеются гидрогеологические предпосылки для связи этих горизонтов непосредственно (через промывы и «окна» в водоупорах) или путем перетекания через разделяющие -относительно слабо проницаемые слои, при этом наиболее ценные данные могут быть получены при изучении режима подземных вод в естественных и особенно нарушенных эксплуатацией условиях.

При бурении следует тщательно документировать относительно водоупорные слои, лежащие в кровле и подошве намечаемого для эксплуатации водоносного горизонта, обращать внимание на степень их трещиноватости; из суглинисто-глинистых пород отбирать образцы для определения коэффициентов фильтрации в лаборатории, при наличии водоносных пропластков или линз — отбирать воду на химический анализ и пр.

При характеристике граничных условий в плане следует уделить особое внимание выяснению взаимосвязи подземных и поверхностных вод. При производстве гидрогеологической съемки необходимо установить, имеется ли непосредственная гидравлическая связь подземных вод с рекой, в какой мере она затруднена заилением дна реки и не приводит ли это заиление к «подвешиванию» русла реки над горизонтом

подземных вод. Основным методом решения этой задачи является изучение режима подземных вод в приречных зонах, а также опытные откачки с фиксацией депрессионной кривой по наблюдательным скважинам, расположенным по лучу, перпендикулярному к реке.

Для оценки запасов подземных вод важнейшее значение имеют, конечно, гидрогеологические свойства того пласта, подземные воды которого предполагается эксплуатировать. Основными свойствами водоносного пласта являются: 1) способность пласта проводить воду; 2) способность с той или иной скоростью передавать изменение напора, которое было обусловлено естественными причинами (например, паводком на реке, с которой водоносный пласт имеет гидравлическую связь) или искусственными (откачка или нагнетание воды).

Гидрогеологическим параметром пласта, от которого зависит рас ход потока, является произведение коэффициента фильтрации на мощность пласта, называемое коэффициентом водопроницаемости.

Если граничные условия таковы, что движение подземных вод к водозабору через некоторое время (меньшее, чем срок амортизации водозабора) станет практически установившимся (например, при расположении водозабора вблизи реки), то определение коэффициента водопроницаемости является достаточным для оценки эксплуатационных запасов подземных вод.

Если при эксплуатации не произойдет стабилизации движения подземных вод, то для оценки запасов определение коэффициента водопроницаемости необходимо, но недостаточно. В этих случаях следует определять гидрогеологические параметры, от которых зависит скорость передачи напора в пласте и, следовательно, скорость развития воронки депрессии, скорость снижения динамического уровня в скважинах водозабора и взаимодействия скважин.

Если водоносный пласт имеет свободную поверхность, то развитие депрессионной воронки обязательно сопровождается осушением водоносного пласта, при этом чем больше водопроницаемость пласта (выражающаяся произведением коэффициента фильтрации горных пород на мощность пласта), тем быстрее распространяется влияние откачки. Наоборот, чем больше водоотдача пород, тем при прочих равных условиях депрессия развивается медленнее, так как при том же объеме откачанной воды объем осушенного пласта меньше. Эти закономерности, непосредственно вытекающие из дифференциального уравнения неустановившегося движения подземных вод, давно подмечены на практике. Так, например, известно, что при одинаковой длительности откачки радиусы влияния при откачках из водоносных пластов, слоистыми песками, больше, чем из пластов мелкозернистых песков. В скальных породах, проницаемых по трещинам, общий объем которых очень мал по сравнению с объемом пласта, депрессия растет значительно быстрее, чем при откачке из водоносных песков, галечников и других рыхлых пород, проницаемых по порам и обладающим большей водоотдачей.

Способность пласта передавать изменения уровня подземных вод. со свободной поверхностью характеризуется коэффициентом уровнепроводности, выражающим отношение водопроницаемости пласта к водоотдаче пород. Значения коэффициентов уровнепроводности водоносных горизонтов, используемых для водоснабжения, обычно выражают порядком нескольких тысяч квадратных метров в сутки.

При откачке из напорных вод осушения пласта не происходит, и скорость развития депрессии регулируется иными процессами. Если бы вода и порода водоносного пласта были бы абсолютно несжимаемыми, а кровля и подошва напорного водоносного горизонта абсолютно непроницаемыми, то всякое изменение напора, вызванное откачкой, распространялось бы по водоносному пласту, как в твердом теле, т. е. со скоростью звука (практически мгновенно). При этом понижение напора подземных вод в зоне влияния откачки оказалось бы практически равным понижению напора в скважине, из которой производится откачка, т. е. градиенты потока, питающего скважины, были бы близки к нулю, и скважина через короткое время практически перестала бы давать, воду. В действительности известно, что при откачке из напорных вод, хотя депрессионная кривая

и развивается гораздо быстрее, чем при откачке из безнапорных вод, но подобных явлений никогда не наблюдается.

Одним из факторов, вызывающих «торможение» развивающейся: депрессии, является то, что противодействие на кровлю водоносного пласта при откачке уменьшается; под влиянием этого пласт сжимается под весом вышележащих пород, и вода как бы выдавливается из пласта в скважину. Таким образом, возникает своеобразный упругий режим: подземных вод, теорию которого наиболее полно и всесторонне разработал В. Н. Щелкачев. Упругие свойства воды и горных пород, определяющие неустановившееся движение подземных вод в напорных условиях, учитываются коэффициентом пьезопроводности, т. е. коэффициентом скорости распространения давления, величина которого прямо пропорциональна коэффициенту фильтрации и убывает с увеличением пористости пород и коэффициентов упругости воды и пород.

Значения коэффициента пьезопроводности превосходят коэффициент уровняпроводности в сотни и тысячи раз, чем и объясняется значительно большая скорость развития депрессионных воронок в напорных водах по сравнению с безнапорными.

При проведении опытных откачек, а также при анализе данных эксплуатации водозаборов нередко оказывается, что скорость распространения депрессии значительно меньше, чем это можно было бы ожидать, исходя из значений коэффициента пьезопроводности, вычисленного по теоретической формуле, учитывающей упругие свойства воды и горных пород. Так, например, при коэффициенте пьезопроводности  $10^6 \text{ м}^2/\text{сутки}$  и времени эксплуатации водозабора  $10^4$  суток, приведенный радиус влияния откачки составил бы 150 км, тогда как в реальных условиях радиусы влияния даже очень крупных эксплуатируемых десятилетиями водозаборов не превышают обычно 20—30 км.

«Несоответствие» теории упругого режима с данными практики отнюдь не обусловлено какими-то погрешностями теории. Они связаны с тем, что в теории упругого режима не учитывается влияние внешней (по отношению к исследуемому пласту) среды.

Скорость передачи напора зависит не только от упругих свойств воды и горной породы, слагающей водоносный пласт, но и от степени проницаемости горных пород, залегающих в кровле и подошве пласта.

Понижение напора в пласте, обусловленное развитием пьезометрической депрессии при эксплуатации, может вызвать перетекание подземных вод из выше- и нижележащих водоносных горизонтов через отделяющие их относительно слабо проницаемые слои, а тем более через «окна». Благодаря этому скорость передачи изменения напора уменьшается, а депрессия развивается медленнее, чем если бы этот процесс обуславливался упругими свойствами пород и воды.

Так, например, в Московском артезианском бассейне скорость передачи напора в водоносном горизонте среднего карбона, имеющем местами связь с грунтовыми водами мезозойских и четвертичных отложений, примерно в 10 раз меньше, чем в нижнем карбоне, перекрытом на огромной площади пластом глин верейского яруса.

Коэффициент пьезопроводности, определяемый в натуре (длительные откачки, наблюдение за восстановлением уровня после откачек, нагнетания воды, анализ работы действующих водозаборов) является, таким образом, параметром, характеризующим способность пласта передавать изменения напора не только в зависимости от упругих свойств пласта и воды, но и от гидрогеологической обстановки, в которой пласт находится. Раздельный учет факторов, влияние которых обобщается коэффициентом пьезопроводности, весьма труден, так как закономерности движения воды в слабо проницаемых пластах, ограничивающих водоносный горизонт, и характер деформаций кровли очень слабо изучены. В связи с этим для решения практических задач пользоваться этим обобщением параметров пока вполне оправдано.

Помимо определения граничных условий и параметров водоносного пласта для оценки эксплуатационных запасов подземных вод важно знать так называемые начальные условия. Формулы неустановившегося движения выведены при предположении, что движение подземных вод в момент, от которого отсчитывается время использования запасов, было установившимся, т. е. никакого «наследства» от предшествовавших

процессов не имеется. Такое условие в расчетах эксплуатационных запасов строго никогда не может быть соблюдено, так как уровни подземных вод, как известно, непрерывно изменяются под влиянием естественных и искусственных факторов.

Колебаниями напора подземных вод артезианских бассейнов под влиянием естественных факторов можно во всех случаях пренебрегать, учитывая их незначительную величину по сравнению с величинами напоров. При оценке эксплуатационных запасов грунтовых вод естественные колебания уровня следует учитывать, если их величина составляет свыше 10% мощности водоносного пласта. Это встречается, например, в приречных зонах, где амплитуда колебаний уровня подземных вод в годовом цикле может выражаться несколькими метрами (а иногда свыше 10 ж), в то время как мощность водоносного горизонта аллювиальных террас обычно не превышает 20—25 м, а также в карстовых районах, характеризующихся большой водопроницаемостью и одновременно малой емкостью массивов.

За начальную отметку уровня подземных вод, от которой отсчитываются понижения уровня при оценке запасов, следует принимать ту, которая соответствует положению уровня подземных вод в периоды их наиболее низкого стояния, что можно установить, основываясь на данных по изучению режима подземных вод.

При оценке эксплуатационных запасов в районах, в которых режим подземных вод формируется под влиянием искусственных факторов (эксплуатация водозаборов подземных вод, водоотлив из горных выработок, подпор подземных вод в связи с гидротехническим строительством и т. п.), за начальные уровни могут быть приняты уровни, наблюдаемые при разведке. Кроме того, может быть дан прогноз их изменения под влиянием уже действующих искусственных факторов. Допустим, что в районе, в котором производится оценка эксплуатационных запасов подземных вод, работает водозабор в условиях установившегося движения (дебит и уровни практически стабилизировались). В этом случае при оценке эксплуатационных запасов уровни подземных вод, установившиеся в зоне влияния действующего водозабора, можно считать как начальные условия. Если в районе действующего водозабора продолжается формирование депрессионной воронки и уровни подземных вод постепенно снижаются, то при оценке эксплуатационных запасов, приняв наблюдаемые уровни за начальные, надо вместе с тем учесть продолжающееся их снижение в течение периода, применительно к которому рассчитываются эксплуатационные запасы.

Высокую точность и теоретическую обоснованность формул гидродинамики нельзя отождествлять с реальной точностью оценки эксплуатационных запасов подземных вод по этим формулам. Решающее значение имеет точность определения гидродинамических параметров пластов и граничных условий. Основные гидрогеологические параметры водоносных пластов существенно изменяются по площади, между тем, производя расчеты запасов по аналитическим формулам, приходится по необходимости принимать их усредненное значение. Особенно большой может быть ошибка при усреднении коэффициента водопроводимости, величине которого дебит водозаборов прямо пропорционален. При расчетах весьма упрощаются и граничные условия водоносных пластов: контуры пласта в плане принимаются либо прямолинейными, либо круговыми.

Существенное повышение точности оценки эксплуатационных запасов подземных вод может быть достигнуто применением моделирования фильтрации на аналоговых машинах (сетчатые электроинтеграторы, метод ЭГДА, гидроинтегратор). В этом случае можно учесть изменение водопроводимости пласта дифференцированно по площади, отобразить сложную конфигурацию границ в пласте. Моделирование, выполненное на основе данных предварительной разведки, способствует повышению целенаправленности детальной разведки, позволяет выделить наиболее перспективные участки для заложения водозаборов.

Моделирование, являющееся наиболее совершенной разновидностью гидродинамического метода, весьма эффективно также для решения так называемых обратных задач, т.е. для определения гидрогеологических параметров пласта (коэффициентов водопроводимости, пьезопроводности, уровнепроводности), для

характеристики взаимосвязи подземных вод с реками, оценки питания и т. д., основываясь на данных о положении депрессионной поверхности и ее изменениях во времени. Надо заметить, однако, что однозначность решения достигается только в том случае, когда искомой величиной является одна из перечисленных выше, а остальные определены независимо.

Применение моделирования целесообразно при сложных гидрогеологических условиях; в простых же условиях оценку эксплуатационных запасов можно производить с достаточной для практики точностью по соответствующим формулам.

### **ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ**

Гидравлические методы расчета эксплуатационных запасов подземных вод при широком использовании эмпирических приемов основываются непосредственно на данных опыта. Гидравлика рассматривает движения воды «усредненно», обобщенно. Так, например, связь между дебитом и понижением уровня воды при откачке из скважины зависит от сопротивлений движению воды в пласте в призабойной зоне, в фильтре и трубе скважины. Учесть порознь эти сопротивления по соответствующим формулам теоретической гидродинамики принципиально возможно, но полученные результаты могут оказаться далекими от действительности из-за трудности определения исходных параметров. Гораздо надежнее, как это и делается на практике, определять зависимость понижения от дебита непосредственным опытом — откачкой из скважины при разных дебитах, т. е. воспользоваться гидравлическим методом. По определенным при опытных откачках эмпирическим параметрам можно прогнозировать динамические уровни применительно к эксплуатационным дебитам путем построения «кривых дебита» по соответствующим эмпирическим формулам.

Как известно, теоретическая зависимость понижения от дебита в напорных водах является линейной, в безнапорных — параболической. Пропорциональность величин дебита и понижения в напорных водах обычно соблюдается с достаточной для практики точностью. Что касается безнапорных вод, то там в связи с осушением водоносного пласта при откачке изменяется не только его мощность (что учитывается формулой), но и среднее значение коэффициента фильтрации, если пласт неоднороден по вертикали. В случае, когда коэффициент фильтрации пласта с глубиной увеличивается (пример — пойменный аллювий речных долин), понижение при увеличении дебита меньше, чем это следует по теоретической формуле. Наоборот, при уменьшении водопроницаемости пласта с глубиной, что наблюдается, например, в зоне выветривания трещиноватых пород, понижения с увеличением дебита растут быстрее, чем по теоретической формуле. Следовательно, в неоднородном пласте экстраполяция данных опытных откачек для определения эксплуатационного понижения может приводить к ошибкам, имеющим разный знак. В связи с этим при оценке эксплуатационных запасов подземных вод в безнапорных условиях рекомендуется (особенно в карстовых районах) производить зональные опытные откачки или дифференцированно исследовать водопроницаемость методом резистивиметрии.

Гидравлические методы применяются также для расчетов взаимодействия скважин, при этом наблюдаемые при опытных откачках «срезки» уровней в соседних скважинах являются в некоторых случаях более надежной основой для прогнозов их величины в условиях эксплуатации, чем расчеты срезов по теоретическим формулам, при усредненном значении коэффициента фильтрации для всего участка водозабора. Гидравлический метод оценки взаимодействия скважин может применяться при условии, что при опытных откачках достигнута стабилизация уровней воды в зоне влияния откачки. В основном это относится к оценке запасов на участках, расположенных вблизи рек, озер и т. п.

При длительной эксплуатации водозабора, состоящего из большого числа скважин, образуется обширная и глубокая депрессия пьезометрической или свободной поверхности подземных вод. На основании данных о суммарном дебите скважин и понижений уровней воды на участке водозабора за ряд лет можно построить кривую дебита водозабора, рассматривая его как единый «большой колодец», и экстраполировать эту кривую

применительно к намечаемому увеличению дебита водозабора. Этот прием является приближенным, при этом он не дает «инженерного запаса» в расчетах, так как одновременно, с увеличением дебита происходит развитие депрессии во времени, связанное с неустановившимся характером движения подземных вод. Поэтому указанный метод оценки эксплуатационных запасов, строго говоря, применим, когда водозабор работает в условиях установившегося движения (например, приречные водозаборы). Однако с некоторой условностью этим методом можно пользоваться и в тех случаях, когда водозабор эксплуатируется длительное время и понижения уровней воды во времени изменяются незначительно, так как зависимость понижения от времени логарифмическая. В заключение еще раз подчеркнем, что основным достоинством гидравлических методов является возможность производить оценку запасов, не прибегая к определению параметров, весьма сильно варьирующих по площади, а потому в некоторых случаях (например, карст) трудно поддающихся усреднению.

Исходные данные для экстраполяции гидравлическим методом—это непосредственно фиксированные понижения и дебиты при опытных и эксплуатационных откачках. Основным недостатком гидравлических методов является невозможность прогнозировать изменения понижений уровня в скважинах водозабора в процессе его эксплуатации, т. е. невозможность доказать обеспеченность восполнения эксплуатационных запасов подземных вод, так как экстраполяционные формулы не включают величин, характеризующих баланс потока.

Поэтому гидравлическими методами можно оценивать эксплуатационные запасы, лишь применяя их совместно с гидродинамическими или балансовыми методами.

### **БАЛАНСОВЫЕ МЕТОДЫ**

Сущность балансовых методов заключается в следующем.

Объем воды, извлеченной водозабором за тот или иной период его эксплуатации, равен сумме объемов воды, полученной за счет: 1) запасов, накопленных в земной коре (естественные или статистические запасы); 2) питания водоносного горизонта, обуславливающего возобновление запасов (естественные ресурсы или динамические запасы); 3) увеличения питания водоносного горизонта, вызванного формированием воронки депрессии (фильтрация воды из рек, уменьшение испарения с поверхности грунтовых вод).

Как отмечалось выше, при оценке эксплуатационных запасов подземных вод гидравлическими методами нет необходимости определять элементы баланса подземных вод, так как баланс потока учитывается в каждом бесконечно малом его элементе. Решая задачу гидродинамическими методами, можно определить понижения уровня воды при эксплуатации водозабора в любой точке водоносного пласта (в том числе в скважинах водозабора) на любой момент времени.

При применении балансового метода можно судить о средней для всего балансового района величине изменения уровня подземных вод, но нельзя прогнозировать понижения уровня воды в водозаборе, т. е. доказать обеспеченность использования подземных вод во времени данным водозабором. По приведенным соображениям балансовые методы при оценке эксплуатационных запасов подземных вод в большинстве случаев являются подсобными и должны применяться совместно с другими методами (гидродинамическими и гидравлическими). Однако в некоторых условиях применение балансовых методов для оценки запасов оказывается весьма важным вследствие изменчивости и неусредняемости значений коэффициентов водопродности (например, в карсте). Балансовые расчеты требуются также при небольшой площади распространения водоносного горизонта для определения его емкости и питания.

В сложившихся условиях расстояния между водозаборами подземных вод, как правило, превышают удвоенные величины измеримых радиусов влияния водозаборов, которые работают практически без взаимодействия. По этой причине при оценке водообеспеченности того или иного отдельно взятого водозабора большей частью нет необходимости оценивать гидрогеологический баланс водоносного горизонта в целом. Однако такая необходимость возникает, если расходы водозаборов соизмеримы с

эксплуатационными ресурсами водоносного горизонта в целом (т. е. в случае необходимости провести оценку ресурсов в региональном плане).

В зависимости от постановки задачи региональная оценка ресурсов производится либо применительно к конкретному расположению намечаемых водозаборов (решение сводится к расчету системы взаимодействующих водозаборов, каждый из которых принимается за «большой колодец»), либо применительно к повсеместному и равномерному размещению по площади водозаборных скважин по некоторой сетке (например, с расстоянием между скважинами 3—5 км). Если представить себе, что все скважины введены в действие одновременно, то при длительной эксплуатации (особенно в напорных водоносных горизонтах) сопротивление движению воды в пластах становится второстепенным фактором, и гидродинамические уравнения «вырождаются» в балансовые зависимости. В связи с этим при региональной оценке ресурсов подземных вод балансовые методы приобретают большое значение.

При расчетах балансовыми методами убыль воды из водоносного горизонта относится ко всему балансовому району, и понижения условно считаются одинаковыми в пределах этого района (включая участок водозабора). Для сопоставления дебита водозабора с запасами подземных вод и их восполнением необходимо знать контуры водоносного горизонта и области, в пределах которых линии токов подземных вод при эксплуатации будут направлены к водозабору. Если эта область охватывает весь водоносный горизонт, то границы площади распространения горизонта являются одновременно контурами балансового района. Таковы условия, например, небольших артезианских бассейнов подземных вод горноскладчатых структур, конусов выноса, аллювиальных отложений «сухих» долин, заложенных в непроницаемых коренных породах. Если область питания водозабора меньше площади распространения водоносного горизонта, то установление границ балансового района является достаточно условным.

### **СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Каждый из рассмотренных методов оценки эксплуатационных запасов подземных вод (гидродинамический, гидравлический, балансовый) имеет свои достоинства и недостатки, поэтому целесообразно применять их совместно.

Весьма эффективно одновременное применение гидравлического и гидродинамического методов (в необходимых случаях с применением моделирования). Гидравлическим методом определяются понижения уровней воды в скважинах и в зоне их влияния, которые затем пересчитываются применительно к намеченным эксплуатационным дебитам скважин. С помощью гидродинамических методов эти понижения, соответствующие длительности опытной откачки, могут быть экстраполированы во времени на весь срок эксплуатации водозабора. Важно подчеркнуть, что в этом случае погрешность от усреднения гидрогеологических параметров гораздо меньше.

При применении гидравлического метода совместно с балансовым дебит водозабора рассчитывается отдельно от возможного восполнения запасов, и требуется лишь соблюдение равенства этих величин. Прогноз понижений уровней воды в скважинах во времени этими методами сделать нельзя. При использовании гидродинамического метода приток воды к водозабору, осушение пласта и питание водоносного пласта рассматриваются как единый процесс, изменяющийся во времени. Следовательно, совместное использование балансового и гидравлического методов, вообще говоря, менее эффективно, чем применение гидродинамического метода с привлечением гидравлического. Однако в тех случаях, когда гидрогеологические параметры пласта недостаточно определены (например, в карсте), более целесообразно совместное применение гидравлических и балансовых методов.

Наконец, в особо сложных гидрогеологических условиях, при незначительных размерах области питания, резко выраженной неравномерности питания во времени, небольшой величине естественных запасов подземных вод целесообразно для взаимного контроля совместное применение всех методов и особенно моделирования.



## ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод гидродинамическим методом сводится к прогнозу производительности водозабора, т. е. к прогнозу изменения уровня подземных вод при заданном дебите водозабора в течение срока эксплуатации. Решение этой задачи обычно проводится в следующей последовательности.

1. Задается дебит одиночной скважины, исходя из данных опытных работ с учетом имеющегося опыта эксплуатации и возможностей насосного оборудования.
2. Определяется количество водозборных скважин и система их расположения в соответствии с принятым дебитом скважины и общей потребностью в воде. Целесообразно рассмотреть несколько схем (различные расстояния между скважинами и их расположение в водозаборе).
3. Рассчитывается понижение уровня в скважине на конец принятого срока эксплуатации по формулам, отвечающим определенным граничным условиям. Расчет следует проводить для скважин, находящихся в наихудших условиях взаимодействия. Расчетный срок эксплуатации устанавливается проектирующей организацией. В том случае, если в задании срок не регламентируется, следует принимать его равным 25—30 годам, что несколько превышает амортизационный срок работы водозабора.
4. Полученное расчетом понижение уровня сопоставляется с допустимым понижением. Допустимое понижение устанавливается в зависимости от технических условий откачки и гидрогеологических условий. В безнапорных водоносных горизонтах оно принимается обычно равным 0,5—0,6 мощности водоносного горизонта, в напорных — величина напора плюс 0,5—0,6 мощности. При этом следует иметь в виду, что при назначении допустимого понижения, при осушении водоносного горизонта должна быть выявлена закономерность изменения фильтрационных свойств в вертикальном разрезе. Во всех случаях необходимо учитывать, что глубина динамического уровня не должна превышать возможную для насосного оборудования высоту подъема, а остаточный столб воды в скважине должен быть достаточным для нормальной работы насоса.

Если расчетное понижение оказывается меньше или равным допустимому, запасы можно считать обеспеченными. В противном случае необходимо уменьшить дебиты скважин, увеличив их количество, или предусмотреть рассредоточение скважин и провести расчеты водозабора при измененных условиях.

Ниже приводятся основные расчетные формулы для определения понижения уровня в напорных водоносных горизонтах. Расчеты водозаборов в безнапорных пластах следует проводить по формулам для напорных горизонтов путем следующей замены:

$$2ms = H^2 - h^2, \quad (II, 1)$$

где  $m$  — мощность напорного горизонта;

$s$  — понижение уровня в напорном горизонте;

$H$  — мощность безнапорного горизонта;

$h$  — величина остаточного столба воды в безнапорном горизонте.

Формулы для расчетов водозабора приводятся применительно к граничным условиям, рассмотренным в настоящей главе. При этом, так как обычно водозаборы состоят из большого количества скважин, рассмотрим формулы для определения понижений в «больших колодцах», к которым приводятся реальные системы скважин.

### Неограниченный пласт

Понижение уровня в скважине, расположенной в центре «большого колодца», по Ф. М. Бочеву (1963) рассчитывается по формуле

$$s = s_{mi} + s_c, \quad (II, 2)$$

где  $s_{BH}$  — понижение уровня, вызванное системой скважин;

$s_c$  — дополнительное понижение в скважине, зависящее от расположения скважин

внутри системы, их несовершенства и нагрузки на каждую скважину. Величина  $s_{BH}$  определяется по следующей формуле:

$$s_{BH} = \frac{Q_{\text{сум}}}{2\pi km} \ln \frac{R_{np}}{R_0}, \quad (\text{II, 3})$$

где  $Q_{\text{сум}}$  — суммарный дебит скважин,  $\text{м}^3/\text{сутки}$ ;

$k$  — коэффициент фильтрации,  $\text{м}/\text{сутки}$ ;

$m$  — мощность водоносного горизонта,  $\text{м}$ ;

$R_{np}$  — приведенный радиус влияния,  $\text{м}$ ;

$R_0$  — радиус «большого колодца»,  $\text{м}$ .

Величина приведенного радиуса влияния рассчитывается по формуле

$$R_{np} = 1,5 \sqrt{at}, \quad (\text{II, 4})$$

где  $a$  — коэффициент пьезопроводности,  $\text{м}^2/\text{сутки}$ ;

$t$  — время эксплуатации, сутки.

Радиус «большого колодца» в зависимости от системы расположения скважин определяется по следующим зависимостям, полученным из работы Ф. М. Бочера (1963):

$R_0 \sim O, 2l$  — для линейного ряда скважин, (II, 5)

$R_0 \sim O, 1p$  — для площадной системы, (II, 6)

$R_0 = R$  — для кольцевой системы. (II, 7)

В формулах (II,5) — (II,7) приняты следующие обозначения;

$l$  — длина ряда при линейной системе,  $\text{м}$ ;

$p$  — периметр площади расположения скважин при площадной системе,  $\text{ж}$ ;

$R$  — радиус кольца, по которому расположены скважины при кольцевой системе,  $\text{м}$ .

Расчеты  $s_{BH}$  по формуле (II,3) можно проводить:

$\frac{at}{R_0^2} \gg 25$  — при линейной системе,

$\frac{at}{R_0^2} \gg 4$  — при площадной системе,

$\frac{at}{R_0^2} > 3,5$  — при кольцевой системе.

В том случае, если  $\frac{at}{R_0^2}$  меньше указанных величин, что может быть в очень редких

случаях при очень больших значениях  $R_0$ , расчеты понижений следует проводить по графикам, опубликованным в работе Ф. М. Бочера (1963).

Величина  $s_c$ , входящая в формулу (II,2), определяется по следующей зависимости:

$$s_c = \frac{Q}{2\pi km} \left[ \ln \frac{r_n}{r_c} + 0,5\xi_0 \right], \quad (\text{II, 8})$$

$Q$  — дебит скважины,  $\text{м}^3/\text{сутки}$ ;

$r_n$  — приведенный радиус условной области влияния данной скважины,  $\text{м}$ ;

$r_c$  — радиус скважины,  $\text{м}$ ;

$\xi_0$  — величина фильтрационного сопротивления, учитывающая несовершенство скважин\*.

Приведенный радиус области влияния скважины определяется по формулам

$$r_n = \frac{\sigma}{2\pi} \text{ — для линейной и кольцевой систем,} \quad (\text{II, 9})$$

где  $\sigma$  — расстояние между скважинами,  $\text{м}$ ;

$$r_n = 0,47 \sqrt{\frac{F_0}{\pi}} \text{ — для площадной системы,} \quad (\text{II, 10})$$

где  $F_0$  — площадь области, ограниченной линиями, проходящими посередине между соседними скважинами (рис. 1, а).

## Ограниченные пласты

Величина понижения уровня в полуограниченных пластах и пластах, ограниченных двумя контурами (параллельными и взаимно пересекающимися), определяется также по формуле (II,2). Меняются только зависимости для определения величины  $S_{вн}$

Величина  $S_{вн}$  определяется по следующим формулам.

1. Пласт, ограниченный одним контуром с постоянным напором (рис. 1, б):

$$s_{ин} = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{2z_0}{R_0}, \quad (II, 11)$$

где  $z_0$  — расстояние от водозабора до контура.

2. Пласт, ограниченный одним непроницаемым контуром (рис. 1, в):

$$s_{ин} = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{1,13at}{z_0 R_0}. \quad (II, 12)$$

3. Пласт, ограниченный двумя параллельными контурами с постоянным напором (рис. 1, г):

$$s_{ин} = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{0,64z \sin \frac{\pi z_1}{z}}{R_0}. \quad (II, 13)$$

4. Пласт, ограниченный двумя параллельными непроницаемыми контурами (рис. 1, д):

$$s_{ин} = \frac{Q}{4\pi km} \ln \left( \frac{7,1 \sqrt{at}}{z} + 2 \ln \frac{0,16z}{R_0 \sin \frac{\pi z_1}{z_2}} \right). \quad (II, 14)$$

\* Величина  $\xi_0$  определяется по приводимой методике (см. гл. VIII, стр. 130).

5. Пласт, ограниченный двумя параллельными контурами, один из которых — непроницаемый, а другой является контуром постоянного напора (рис. 1, е):



$$s_{\text{вн}} = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{1,27z \operatorname{ctg} \frac{\pi z_1}{2z}}{R_0} \quad (\text{II, 15})$$

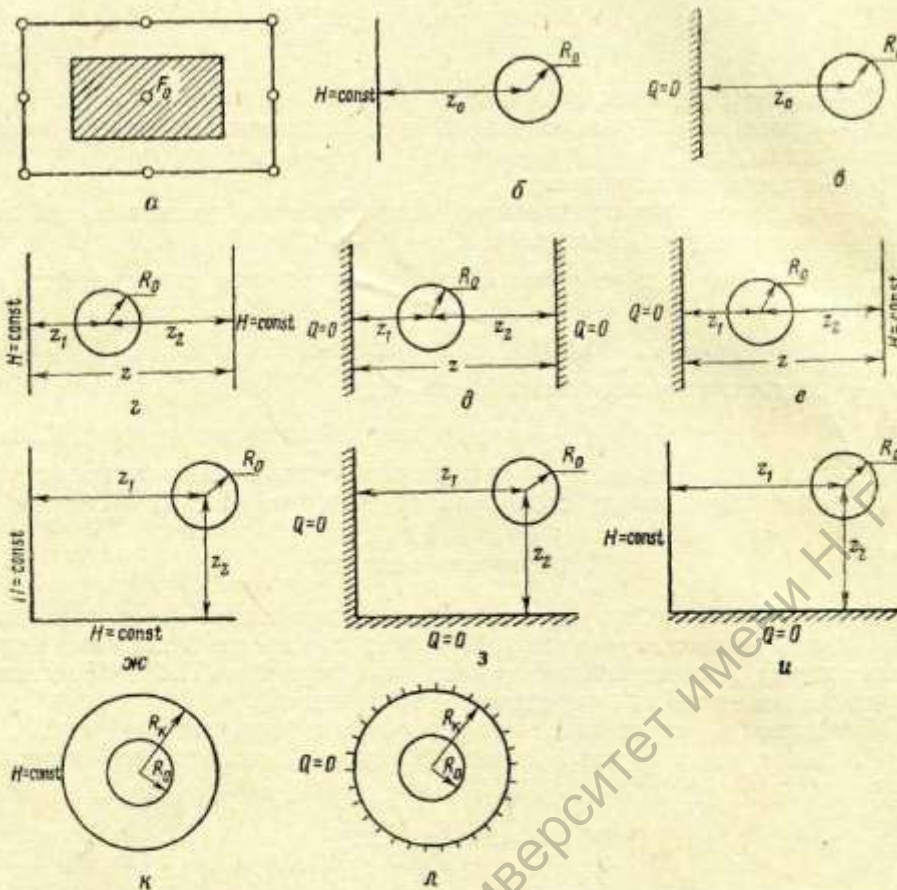


Рис. 1. Схема расположения водозабора в различных граничных условиях

В формулах (II, 13) — (II, 15):

$z$  — ширина полосы (расстояние между контурами), м;

$z_1$  — расстояние от центра водозабора до ближайшего контура.

6. Пласт, ограниченный двумя взаимно пересекающимися контурами с постоянным напором (рис. 1, ж):

$$s_{\text{вн}} = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{\rho_1 \rho_2}{R_0 \rho_3} \quad (\text{II, 16})$$

7. Пласт, ограниченный двумя взаимно пересекающимися непроницаемыми контурами (рис. 1, з):

$$s_{\text{вн}} = \frac{Q}{\pi km} \ln \frac{2,25at}{\sqrt{R_0 \rho_1 \rho_2 \rho_3}} \quad (\text{II, 17})$$

8. Пласт, ограниченный двумя взаимно пересекающимися контурами, один из которых — непроницаемый, а другой является контуром постоянного напора (рис. 1, и):

$$s_{\text{вн}} = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{\rho_1 \rho_2}{R_0 \rho_3} \quad (\text{II, 18})$$

Величины  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  и  $\rho_3$  определяются по следующим зависимостям:

$$\rho_1 = 2z_1, \quad (\text{II, 19})$$

$$\rho_2 = 2z_2, \quad (\text{II, 20})$$

$$\rho_3 = \sqrt{(2z_1)^2 + (2z_2)^2} \quad (\text{II, 21})$$

В формуле (II, 18)  $z_1$  расстояние до контура постоянного напора.

9. Пласт, ограниченный круговым контуром питания (рис. 1, к):

$$s = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{R_k}{R_0}, \quad (\text{II, 22})$$

где  $R$  — радиус кругового контура.

10. Пласт, ограниченный круговым непроницаемым контуром (рис. 1, а):

$$s_{\text{ан}} = \frac{Q}{2\pi km} \left( \ln \frac{R_k}{R_0} + \frac{2at}{R_k^2} - 0,75 \right). \quad (\text{II, 23})$$

При больших значениях времени формулу (23) можно преобразовать следующим образом:

$$s_{\text{ан}} = \frac{Q}{\pi km} \cdot \frac{at}{R_k^2}. \quad (\text{II, 24})$$

Все вышеприведенные формулы для ограниченных пластов могут применяться только в тех случаях, когда крайние скважины системы отстоят от ближайшей границы пласта на расстоянии, большем  $2,5 R_0$  при линейной системе,  $R_0$  при кольцевой системе и  $1,6 R_0$  при площадной системе.

Кроме того, следует учитывать, что формулы (II,11) — (II,18) справедливы через определенное время после начала эксплуатации. Это время определяется из соотношения

$$t > 2,5 \frac{p^2}{a}, \quad (\text{II, 25})$$

где  $p$  определяется по формулам

$$p = 2z_0 \text{ — в полуограниченных пластах,} \quad (\text{II, 26})$$

$$p = 2(z_1 + z) \text{ — в пластах, ограниченных двумя параллельными контурами,} \quad (\text{II, 27})$$

$$p = p_3 \text{ — в пластах, ограниченных двумя взаимно пересекающимися контурами,}$$

где  $p_3$  определяется по формуле (II,21).

В настоящей главе приведены только самые основные формулы, применяемые для расчета водозаборов. Ряд формул, кроме того, будет приведен в главах, посвященных различным типам месторождений подземных вод. Более подробно расчетные формулы для оценки эксплуатационных запасов приведены в работах Ф. М. Бочевера, Н. Н. Веригина (1961), Ф. М. Бочевера (1963) и Н. Н. Биндемана (1963).

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Геофизические методы приобретают все большее значение при гидрогеологических исследованиях, в частности при разведках подземных вод для водоснабжения. Можно сказать, что сейчас нет таких гидрогеологических задач, для решения которых в той или иной степени нельзя было бы применить геофизику. Однако при гидрогеологической съемке геофизические методы разведки почти не применяются. Можно привести ряд примеров, когда затрачивалось много времени и большие средства на решение тех или других гидрогеологических задач обычными разведочными средствами, в то время как методами геофизики эти задачи могли быть решены очень просто и быстро. Например, при гидрогеологической съемке в пустынных районах Туркмении до сих пор еще оконтуривание линз пресных вод в песках проводится путем бурения большого числа разведочных скважин, в то же время эти линзы пресных вод очень быстро и с значительно большей точностью можно оконтурить методами электроразведки с отдельными только контрольными скважинами.

С другой стороны, часто перед геофизиками ставятся задачи, для решения которых применять эти методы совершенно нерационально, например разведка грунтовых вод флювиогляциальных отложений, в результате чего затрачиваются непроизводительно средства.

В первом приближении различные гидрогеологические задачи, решаемые методом геофизики при поисках и разведке подземных вод, могут быть подразделены на следующие разделы:

1. Изучение общего геологического строения исследуемых районов и деталей этого строения, имеющих важное гидрогеологическое значение.
2. Специальные гидрогеологические задачи: поиски и картирование областей распространения подземных вод с разной минерализацией, определение глубин залегания подземных вод, изучение направления и скорости движения этих вод и др.
3. Изучение коллекторских свойств горных пород в их естественном залегании.
4. Задачи изучения естественных физических полей в земной коре, имеющих самостоятельное гидрогеологическое значение.

Наиболее широко геофизические методы применяются для изучения геологических структур больших территорий и на больших глубинах. Для этих целей с успехом может быть привлечен весь арсенал геофизических методов, применяемых при разведке нефти и при региональных геологических исследованиях.

Наряду с такими общими геофизическими исследованиями больших территорий и больших глубин при гидрогеологических изысканиях особое значение приобретают геофизические методы для более детального изучения горных пород на меньших глубинах.

При гидрогеологической съемке, проводимой на основе кондиционных геологических карт, дающих ясное представление об общем геологическом строении района, ставить специальные геофизические работы для выяснения этого строения уже нерационально. С другой стороны, часто даже при хороших геологических съемках остаются не изученными некоторые детали геологического строения, имеющие важное гидрогеологическое значение, для изучения которых целесообразно применять геофизику.

К таким вопросам относятся: мощность рыхлых покровных отложений, мощность аллювиальных отложений и наличие переуглублений речных долин, степень трещиноватости скальных пород, карст, глубина залегания мерзлых пород и их мощность, наличие таликов в мерзлых породах и островов мерзлоты в талых породах и т. д.

Не менее важным является применение геофизических методов для решения специальных гидрогеологических задач. В этом отношении электроразведка широко применяется для картирования линз пресных вод среди соленых (работы на побережьях Германии и Бельгии, а также опыты работы в пустынных и полупустынных районах СССР). Широко стали применяться электроразведка и сейсморазведка для определения глубины залегания грунтовых вод и для поисков наиболее перспективных участков водозабора грунтовых вод. Методами электроразведки можно определять направление и скорости движения подземных вод, положение зон поглощения в реках, питающие карстовые потоки. С помощью некоторых каротажных модификаций в скважинах удается определять места поглощения и скорости фильтрации подземных вод, оценивать величины водопроницаемости пород.

Особо следует отметить возможность эффективного применения геотермических методов для изучения и разведки подземных вод. Эти методы дают возможность с большой точностью определять места выхода восходящих вод под наносами, устанавливать положение водопроводящих трещин в коренных породах, оценивать скорость восходящего и нисходящего движения воды.

Выбор методики геофизической разведки для решения вышепоставленных гидрогеологических задач определяется местными природными условиями, а также организационными и экономическими соображениями. В связи с этим для каждого конкретного района гидрогеологических исследований должен составляться свой проект геофизических работ, учитывающий задачи, поставленные перед гидрогеологами, необходимый масштаб, кондицию и точность исследований, природные условия района работ, степень их изученности, наличие скважин и горных выработок, организационные и экономические соображения.

Исходными факторами для планирования геофизических работ являются гидрогеологические задачи, встающие перед исследователем. Поэтому автор попытался перечислить основные геофизические методы разведки применительно к тем задачам, которые могут возникнуть перед гидрогеологом при поисках и разведке подземных вод.

В круг рассматриваемых задач включены также общие вопросы изучения геологических структур крупных регионов, определения строения кристаллического фундамента, прослеживания границ разделов между различными свитами или региональными разрывными дислокациями.

Все эти задачи общего геологического изучения района отпадают в том случае, если гидрогеологическая съемка проводится в хорошо геологически изученном районе. Однако даже в этих условиях гидрогеологу целесообразно вернуться к материалам ранее проведенных геофизических работ и заново их пересмотреть в аспекте своих гидрогеологических задач.

Другим немаловажным фактором при планировании геофизических работ являются топографические, климатические и геологические условия, определяющие эффективность постановки тех или иных геофизических работ. Поэтому в нижеприведимом перечне геофизических методов сделана попытка выделить благоприятные и неблагоприятные факторы их проведения. Следует отметить, что выделение этих факторов в значительной степени является условным и может служить только для ориентировочных соображений при планировании геофизических работ.

Например, сухие пустыни в общем являются неблагоприятными для проведения электроразведочных работ методами постоянного тока, однако, выполняя эти работы зимой и ранней весной, можно получить очень хорошие результаты с небольшой затратой средств.

Кроме того, возможность проведения геофизических работ в разных условиях в большой степени зависит от применяемой аппаратуры и технической разработанности метода. Поэтому часто неблагоприятные условия для проведения геофизических работ, которые были еще вчера, отпадают сегодня, когда на вооружение поступает новая более совершенная аппаратура.

Проектируя геофизические работы, гидрогеолог должен оценивать их техническую эффективность и экономическую целесообразность. При этом он должен учитывать, что почти все виды геофизических работ для надежной их интерпретации требуют некоторого объема контрольного бурения. В то же время при рациональном комплексировании разных геофизических методов и разведочного бурения часто можно получить значительную экономию в средствах при одновременном повышении детальности и точности исследований. Например, определение скального основания в долине реки под труднопроходимыми бурением наносами в большинстве случаев может быть успешно решено путем постановки комплекса электроразведочных и сейсморазведочных работ с проходкой одной-двух разведочных скважин. С другой стороны, если аллювиальные отложения представлены глинисто-песчаными разностями, а коренные породы по своим физическим свойствам мало-отличны от аллювия, изучение речной долины целесообразнее проводить без применения геофизики, только на основе разведочного бурения.

Комплекс разведочных и геофизических методов для каждого конкретного района исследований должен выбираться на основе специального проектирования со сравнительной экономической оценкой возможности решения поставленных задач одними разведочными методами.

## ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Изучение режима подземных вод является одной из составных частей комплекса гидрогеологических исследований, проводимых для оценки эксплуатационных запасов подземных вод как на поисково-разведочных стадиях изысканий месторождений подземных вод, так и при эксплуатации уже разведанного месторождения подземных вод (на существующих водозаборах).

Ввиду того, что вопросы изучения режима подземных вод в районах действующих водозаборов освещены в главах V и VII, в данной главе мы остановимся лишь на вопросах изучения естественного режима подземных вод.

## **ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ СТАДИЯХ ИЗЫСКАНИЙ ПОД ВОДОЗАБОРЫ**

Опыт работы Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) показывает, что изучение и анализ естественного режима подземных вод при разведке месторождений подземных вод и оценке их эксплуатационных запасов во многих случаях проводится недостаточно целенаправленно и качественно. Наиболее общими, чаще всего встречающимися недостатками при организации и изучении режима подземных вод являются следующие:

1. Наблюдательная сеть закладывается нерационально, без достаточно продуманной системы и без необходимого на то обоснования. В результате такая сеть нередко не характеризует всего разнообразия видов и разновидностей режима подземных вод на участке проектируемого водозабора.

2. Наблюдения проводятся в весьма непродолжительные промежутки времени (часто всего лишь около одного года) и при этом полученные таким образом короткие ряды наблюдений не увязываются с многолетним ходом режима подземных вод.

3. В методах оценки размеров восполнения запасов подземных вод по установившемуся шаблону расчет ведется по наблюдавшейся сезонной амплитуде колебаний уровня подземных вод (независимо от разнообразия граничных условий и оценки обеспеченности таких амплитуд в многолетнем аспекте).

Все это не может не сказаться на точности расчетов эксплуатационных запасов подземных вод и не дает необходимой уверенности в их обеспеченности во времени.

Размещение наблюдательной сети в районе проектируемого водозабора должно быть подчинено тем задачам, которые перед ней ставятся, и тем методам, которыми эти задачи будут решаться. В связи с этим ниже мы кратко остановимся как на основных задачах изучения режима подземных вод в районах водозаборов, так и на некоторых методах их решения.

К задачам изучения естественного режима подземных вод на поисково-разведочных стадиях можно отнести следующие.

1. Определение по данным наблюдений за режимом подземных вод ряда основных расчетных гидрогеологических параметров. К ним могут быть отнесены:

а) минимальные и средние мощности или напоры водоносных горизонтов, т. е. исходные статические уровни подземных вод и в соответствии с ними—определение максимально возможных допустимых понижений уровня при эксплуатации;

б) коэффициенты уровне-и пьезопроводности;

в) недостаток насыщения пород в зоне колебаний уровня подземных вод и водоотдача;

г) водопроницаемость водоносного горизонта;

д) коэффициенты упругоэластичности пласта и др.

2. Уточнение граничных условий водоносного горизонта в зоне влияния проектируемого водозабора (уточнение степени гидравлической связи водоносного горизонта с рекой, зависимости режима грунтовых вод от осадков, испарения; уточнение взаимосвязи с другими водоносными горизонтами и т. д.).

3. Оценка размеров естественного восполнения (питания) водоносного горизонта и обоснование возможных изменений размеров питания в процессе работы водозабора.

Остановимся кратко на вопросах, связанных с перечисленными выше задачами изучения режима подземных вод и методах их решения.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГОЙ ВОДООТДАЧИ ПЛАСТА И КОЭФФИЦИЕНТА ПЬЕЗОПРОВОДНОСТИ ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА РЕЖИМОМ УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ**

Упругая водоотдача водоносного пласта, так же как и коэффициент пьезопроводности, может быть определена по данным наблюдений за изменениями уровней подземных вод, происходящих под влиянием изменений атмосферного давления.

О связи колебаний уровня подземных вод с атмосферным давлением известно еще с



начала XVIII в. Этому явлению посвящено много работ: Н. Н. Биндеман, 1938 г.\*; С. Jacob, 1940; D. Todd, 1959; В. П. Яковлев, 1959; В. М. Шестаков, 1965 и др. Однако до сих пор это явление еще недостаточно широко используется для определения гидрогеологических параметров в практике гидрогеологических исследований.

Как известно, с увеличением атмосферного давления уровни воды в скважинах понижаются, дебиты родников также снижаются, а с уменьшением атмосферного давления, наоборот, уровни и дебиты повышаются. Наиболее четко это явление фиксируется в напорных водах, однако и в грунтовых водах, например зимой, когда зона аэрации заморожена, или летом, когда в отдельных случаях, после выпавших осадков в верхней части зоны аэрации образуется подвешенная капиллярная кайма, препятствующая быстрому проникновению изменений атмосферного давления вглубь до водоносного горизонта, также наблюдаются колебания уровней воды в скважинах под влиянием атмосферного давления, так как в таких случаях водоносный горизонт становится как бы межпластовым.

Отношение изменений уровня подземных вод  $\Delta H$ , вызванное соответствующим изменением атмосферного давления  $\Delta Pa$ , называется барометрической эффективностью  $B$ , которая вычисляется по формуле

$$B = \frac{\Delta H}{\Delta Pa \gamma}, \quad (\text{VI, 1})$$

где  $\gamma$  — объемный вес подземной воды, который для пресных вод равен  $1 \text{ г/см}^3$ .

Величина  $B$  является гидрогеологическим параметром, зависящим от упругих свойств водоносного горизонта. Джекоб приводит следующее выражение барометрической эффективности:

$$B = \frac{a E_s}{a E_s + E_w}, \quad (\text{VI, 2})$$

где  $a$  — пористость водоносного пласта;

$E_s$  — модуль упругого сжатия пласта (или скелета пород водоносного горизонта);

$E_w$  — модуль упругого сжатия воды, равный  $22\,000 \text{ кг/см}^2$ .

В гидрогеологической литературе (Щелкачев, 1959) часто можно встретить другие константы упругости воды ( $v_w$ ) и породы ( $v_s$ ), обратные указанным модулям:

\* См. в кн. Г. Н. Каменского и др., 1938.

$$\beta_w = \frac{1}{E_w} \text{ и } \beta_s = \frac{1}{E_s}, \quad (\text{VI, 3})$$

где  $v_w$  — коэффициент упругости или объемной упругости воды, равный для пресных вод  $4,5 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{кг}$  (или  $1/\text{атм}$ );

$v_s$  — коэффициент упругости пород, слагающих водоносный горизонт, изменяющийся в зависимости от состава и структуры пород в значительных пределах: от  $0,26 \cdot 10^{-5}$  до  $2 \cdot 10^{-5}$ .

Для гидрогеологических же расчетов важно знать коэффициент упругости горизонта —  $v^*$ , который, определяется упругими свойствами как пласта, так и воды:

$$\beta^* = \alpha \beta_w + \beta_s \text{ или } \beta^* = \frac{\alpha}{E_w} + \frac{1}{E_s}. \quad (\text{VI, 4})$$

Для определения  $v^*$  неизвестная  $E_s$  (или  $v_s$ ) может быть найдена из формулы (VI, 2):

$$E_s = \frac{B E_w}{\alpha (1 - \beta)}, \quad (\text{VI, 5})$$

при условии, что по данным фактических наблюдений определена барометрическая эффективность пласта ( $B$ ) и известна его пористость ( $\alpha$ ). После чего, подставляя выражение (VI, 5) в уравнение (VI, 4), получаем:

$$\beta^* = \frac{\alpha}{B E_w}. \quad (\text{VI, 6})$$

Зная коэффициент фильтрации ( $k$ ) и коэффициент упругости водоносного пласта ( $\beta^*$ ), можно уже определить коэффициент пьезопроводности водоносного горизонта ( $a$ ):

$$a = \frac{k}{\beta^*} = \frac{k \cdot B \cdot E_{\text{св}}}{\alpha} \quad (\text{VI, 7})$$

Полученные таким путем коэффициенты пьезопроводности, как показала практика, хорошо согласуются с таковыми, определенными по данным опытных откачек.

Для определения барометрической эффективности необходимо, чтобы наблюдательные скважины были оборудованы самописцами. Даже в этом случае не всегда с достаточной точностью можно уловить начало изменений в режиме уровня подземных вод по лимниграмме, связанных с началом изменений атмосферного давления по барограмме, так как режим подземных вод формируется под влиянием многих факторов. В связи с этим вычисленные величины барометрической эффективности, полученные при разных определениях, дают определенный разброс (чего не должно быть, так как величина  $B$  для каждой скважины является постоянной). Поэтому для определения  $B$  целесообразно сначала нанести все их значения на графики (рис. 8), осреднить их какой-то прямой

и только затем определять величину  $B$ , как  $\text{tg} \alpha$ . Размеры барометрической эффективности для разных водоносных горизонтов колеблются от 0,2 до 0,8, но чаще от 0,5 до 0,6.

Определение барометрической эффективности возможно не только в условиях естественного режима подземных вод, но также и в условиях слабо нарушенного режима, где искусственные колебания уровня не настолько резки и часты, чтобы не заметить колебаний уровней, происходящих под влиянием изменений атмосферного давления. Кстати, размеры таких колебаний могут достигать 20—25 см.

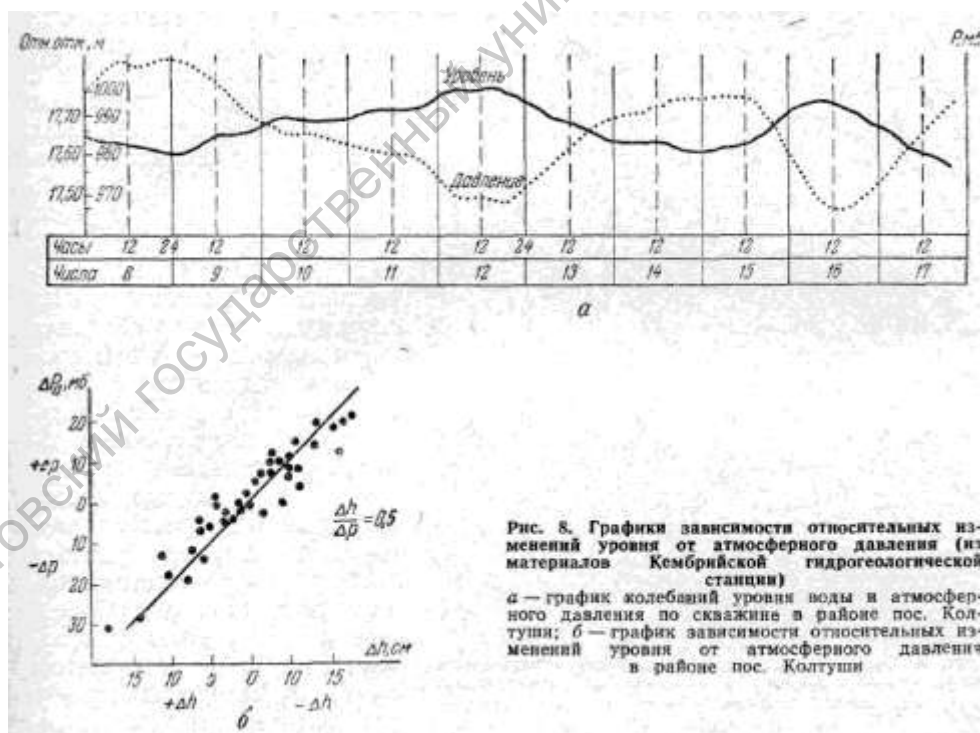


Рис. 8. Графики зависимости относительных изменений уровня от атмосферного давления (из материалов Кембрийской гидрогеологической станции)  
 а — график колебаний уровня воды и атмосферного давления по скважине в районе пос. Колтуши; б — график зависимости относительных изменений уровня от атмосферного давления в районе пос. Колтуши

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА С РЕКОЙ

Как мы уже указывали, наблюдения за режимом подземных вод могут быть использованы и для уточнения граничных условий, в которых будет работать будущий водозабор. Примером этого может служить оценка, по данным наблюдений за режимом подземных вод степени гидравлической связи водоносного горизонта с рекой,

определяемой степенью заиленности русла реки, несовершенством вреза реки, сопротивлением ложа реки, кольматацией пор водовмещающих пород в прирусловой зоне и другими причинами. Анализ режима работ водозаборов показывает, что уровни подземных вод очень часто отрываются от уреза реки даже при наличии стабилизации уровней и дебитов. Степень такого отрыва уровней может быть различной. На рис. 9 показаны три различных варианта отрыва уровней подземных вод:

а) уровень подземных вод оторвался от уреза реки, но на противоположной стороне реки понижения уровня грунтовых вод не наблюдается;

б) уровень грунтовых вод на противоположной стороне реки снизился, но вместе с тем он еще не оторвался от дна реки (т. е. восполнение из реки осуществляется за счет фильтрации речных вод, а не дождевания) и, наконец,

в) уровень грунтовых вод снизился ниже дна реки, из которой имеет место дождевание.

В первых двух случаях расчет запасов подземных вод (дебитов эксплуатационных скважин) может осуществляться по обычным формулам для инфильтрационных водозаборов (Форхгеймера, Маскета-Лейбензона и др.), как для полуограниченного пласта, с той лишь разницей, что вместо расстояния до реки, равного  $a$ , должны приниматься расстояния с учетом степени заиленности русла, равные  $a + \Delta l$ . Неучет гидравлического сопротивления русла может привести к резкому завышению расчетных дебитов водозабора (иногда в два с лишним раза), особенно если расчеты ведутся по формулам, где расстояние до реки входит не под логарифмом, а прямо (например, по Маскету-Лейбензону).

В третьем случае расчет должен вестись уже как для неограниченного пласта. Размеры дождевания при этом будут «автоматически» учитываться в параметрах.

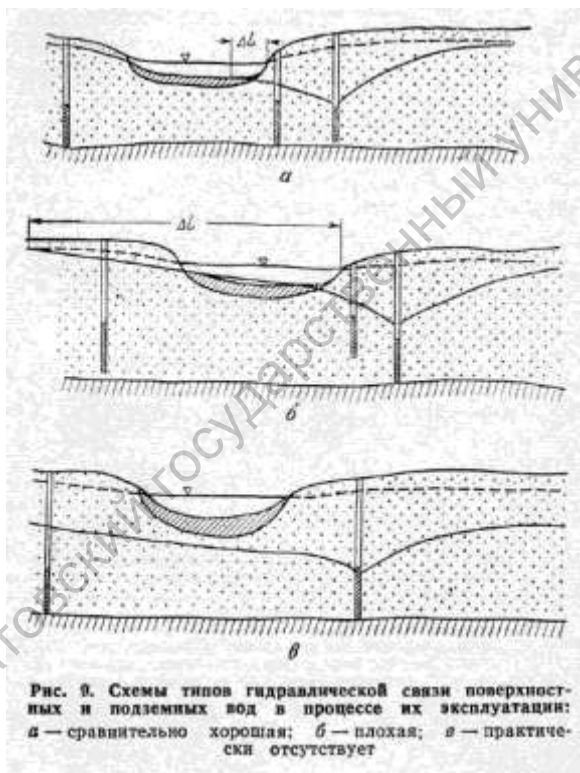


Рис. 9. Схемы типов гидравлической связи поверхностных и подземных вод в процессе их эксплуатации: а — сравнительно хорошая; б — плохая; в — практически отсутствует

Из сказанного видно, как важно знать степень заиленности русла. Определить ее можно двумя методами.

1. В естественных условиях  $\Delta l$  может быть определена по формуле В. М. Шестакова (1965) для створа, состоящего из двух скважин, расположенных вблизи реки по потоку грунтовых вод:

$$\Delta l = \frac{H_1 - H_p}{H_2 - H_1} (x_2 - x_1) - x_1, \quad (VI, 8)$$

где  $H_1$  — мощность или уровень подземных вод водоносного горизонта в ближайшей к реке скважине;

$H_p$  — мощность водоносного горизонта на урезе реки;

$H_2$  — мощность водоносного горизонта во второй от реки скважине;

$x_1$  — расстояние скв. 1 от реки;

$x_2$  — расстояние скв. 2 от реки.

2. В нарушенных условиях (по данным откачек или наблюдений на действующих водозаборах) также по двум скважинам методом, предложенным Е. Л. Минкиным, путем подбора значений  $a$  по формуле:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{\lg \frac{2a_0}{r_0}}{\lg \frac{2(a_0-b)}{b}} = \alpha \quad \text{для напорных вод,} \quad (\text{VI, 9})$$

и по формуле

$$\frac{s_1(2H_0 - s_1)}{s_2(2H_0 - s_2)} = \frac{\lg \frac{2a_0}{r_0}}{\lg \frac{2(a_0-b)}{b}} \quad \text{для грунтовых вод,} \quad (\text{VI, 10})$$

где  $s_1$  и  $s_2$  - понижения соответственно в скв.1 и скв.2 (в данном случае скв. 1 — эксплуатационная, а скв.2 расположена между скв.1 и рекой);

$a_0$  - расстояние водозабора до реки;

$b$  - расстояние наблюдательной скважины от водозабора;

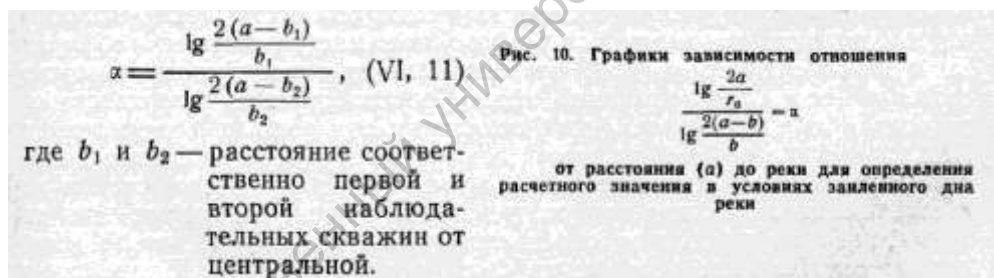
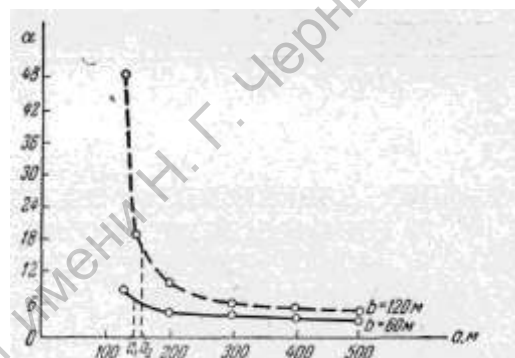
$H_0$  - мощность водоносного горизонта до откачки.

Подставляя в правые части указанных формул различные значения  $a$ , строится график зависимости  $\alpha$  от  $a$ . После чего, зная фактически полученное при откачке значение

$$a = \frac{s_1}{s_2} \quad \text{или} \quad a = \frac{s_1(2H_0 - s_1)}{s_2(2H_0 - s_2)}, \quad \text{с графика}$$

снимается истинное расчетное значение величины  $a_p$ .

Более точные результаты могут быть получены по двум наблюдательным скважинам по соотношению



Для случая, когда в результате эксплуатации снижение уровня наблюдается за рекой, в расчет необходимо брать данные по скважине, расположенной за рекой, так как в ней более полно учитывается степень связи водоносного горизонта с рекой. На рис. 10 приведен пример расчета расстояния до реки по Курскому водозабору, произведенный для двух случаев:

1) для водозабора и наблюдательной скважины, расположенной между водозабором и рекой (при  $b = 60$  м);

2) для водозабора и наблюдательной скважины, расположенной за рекой (при  $b=120$  м).

Как видно из рис. 10, во втором случае величина  $a_p$  получена несколько большей (165 м), чем в первом (150 м). Определив опытным путем отношение истинного

расстояния водозабора до реки к расчетному  $\frac{a_0}{a_p} = \Delta$ , отражающего степень заиленности и

сопротивления ложа реки, необходимо все расчеты запасов подземных вод инфильтрационных водозаборов, проводившиеся без учета степени гидравлической связи, соответственно уменьшить, помножив их на величину  $\Delta$ .

В. М. Шестаков (1965) предложил метод определения сопротивления русла реки ( $\Delta L$ ) для неустановившегося режима фильтрации, имеющего место во время паводка. Исходя из параболической зависимости изменений уровня в реке и зная отношение мощностей

водоносного горизонта в наблюдательной скважине и в реке  $\frac{\Delta H_{скв}}{\Delta H_p}$ , можно определить  $\Delta L$  из уравнения

$$\Delta L = \frac{Vat}{\tau} - x, \quad (VI, 12)$$

где  $x$  — расстояние скважины до уреза реки;

$t$  — время между пиком уровня в реке и пиком уровня в скважине;

$a$  — коэффициент уровнепроводности пласта;

$\phi$  — величина, определяющаяся по табл. 16.

Таблица 16

$\frac{\Delta H}{\Delta H_p}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,65
$\tau$	0,09	60,214	0,36	0,53	0,77	1,11	1,65	2,07	1,34

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ УРОВНЕПРОВОДНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТОВ ФИЛЬТРАЦИИ ПО КОЛЕБАНИЯМ УРОВНЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД, ПРОИСХОДЯЩИХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПАВОДКОВ

Для всех инфильтрационных водозаборов, восполнение запасов подземных вод в районе которых осуществляется главным образом за счет поверхностных вод, особенно важно знать фильтрационные свойства зоны, расположенной между водозабором и поверхностным, водотоком или водоемом. Даже откачками эта зона не всегда может быть охарактеризована достаточно качественно (особенно, если водозабор расположен сравнительно далеко от реки и если скважины несовершенны). Наблюдения за режимом уровня подземных вод во время паводка позволяют определить усредненные для данной зоны параметры. Впервые этот метод был предложен Н. Н. Биндеманом (1957) и получил свое дальнейшее развитие в работах А. В. Лебедева (1961 г.), П. А. Киселева (1961 г.), В. М. Шестакова (1965) и др. Приведем три предложенных Н. Н. Биндеманом наиболее широко применяемых способа определения параметров, основанных на использовании конечно-разностных уравнений.

*Первый метод* основан на наблюдениях за режимом подземных вод по двум скважинам, одна из которых располагается близ уреза реки (либо по одной скважине и данным колебаний уровня в реке). Лучше же всего иметь три скважины, расположенные на равных расстояниях ( $x$ ) друг от друга.

Время повышения горизонта реки разбивается не менее чем на 8—10 интервалов. Затем производится расчет депрессионной кривой в конечных разностях и строится график, по оси абсцисс которого откладываются номера расчетных сечений, а по ординатам — повышения уровней воды за время  $t$ , вычисленные для этих сечений (рис. 11).

Коэффициент уровнепроводности определяется по формуле

$$a = \frac{km}{\mu} = \frac{n \cdot x^2}{2N^2 t}, \quad (VI, 13)$$

где  $n$  — число интервалов времени, при котором производится расчет в конечных разностях;

$x$  — расстояние скважины от реки;

$N$  — абсцисса точки на графике, ордината повышения уровня в которой равна повышению уровня воды в скважине;

$t$  — время, в течение которого происходит повышение уровня воды.

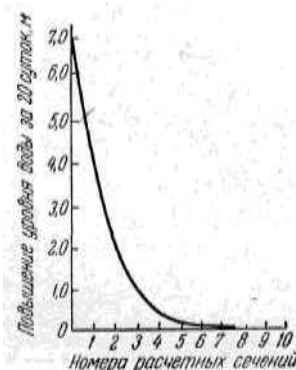


Рис. 11. Кривая повышения уровня грунтовых вод, рассчитанная по методу конечных разностей

Аналогичный метод определения коэффициента уровнепроводности также для двух скважин, расположенных на расстоянии  $x$ , предложил В. М. Шестаков (1965). Зная изменения уровня водоносного горизонта в наблюдательном ( $\Delta H$ ) и граничном ( $\Delta H^0$ ) пьезометрах за период времени  $t$ , коэффициент уровнепроводности  $a$  определяется по формуле

$$a = \frac{x^2}{4\lambda^2 t}, \quad (\text{VI, 14})$$

где  $\lambda$  — величина, определяющаяся по табл. 17.

Таблица 17

$\frac{H}{H_0}$	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1
$\lambda$	0	0,055	0,115	0,18	0,26	0,35	0,44	0,57	0,71	0,82	0,95

*Второй метод* Н. Н. Биндемана основан на определении площади насыщения пласта ( $F$ ), ограниченной депрессионной кривой до паводка и при паводке на любой промежуток времени  $t$  в пределах его (рис. 12, а). Для определения этой площади необходимо минимум две наблюдательные скважины (но чем больше, тем лучше — точнее результаты расчета). Одна из скважин размещается непосредственно у реки. Определив на разрезе планиметром эту площадь  $F$ , а также зная мощности водоносного горизонта по двум скважинам до паводка и спустя какое-то время ( $t$ ) в течение паводка (или лучше на период максимума паводка), можно определить:

$$a = \frac{km}{\mu} = \frac{\pi}{4} \frac{F}{H \cdot H_{\text{ср}} t} \sqrt[3]{\frac{H}{H_{\text{ср}}}}, \quad (\text{VI, 15})$$

где  $F$  — площадь насыщения пласта, т. е. объем породы, насыщенной при паводке водой на единицу длины берега реки;

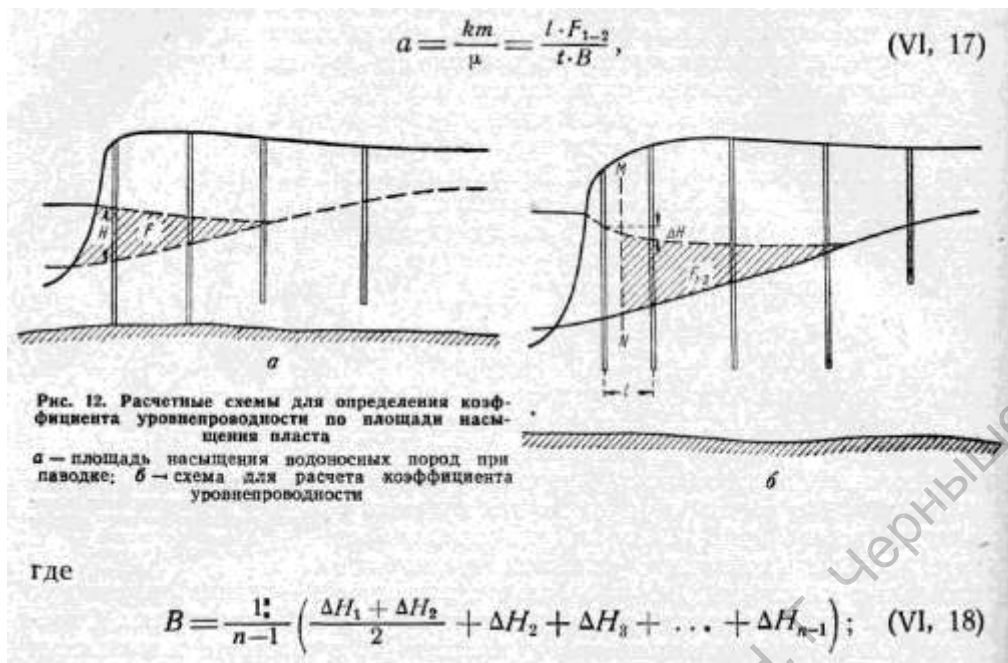
$H$  — повышение горизонта воды в ближайшей к реке скважине за все расчетное время  $t$ .

$H_{\text{ср}}$  вычисляется по формуле

$$H_{\text{ср}} = \frac{1}{n-1} \left( \frac{H_1 + H_n}{2} + H_2 + H_3 + \dots + H_{n-1} \right), \quad (\text{VI, 16})$$

где  $n$  — число замеров подъема уровня грунтовых вод в ближайшей к реке скважине во время паводка через равные промежутки времени  $\Delta t$ , включая замер перед паводком  $H_1$ ; а  $H_1, H_2, \dots, H_n$  — повышение уровня воды в ближайшей к реке скважине по отношению к меженному уровню воды, замеренные через равные промежутки времени  $\Delta t$ .

*Третий метод.* Вблизи реки, за пределами паводкового затопления, закладываются две скважины по линии, перпендикулярной к берегу водохранилища, на расстоянии  $l$  друг от друга (рис. 12, б). По этим скважинам в течение времени  $t$  производятся ежедневные замеры уровней воды с последующим определением их разности  $\Delta H_1, \Delta H_2, \Delta H_3, \dots, \Delta H_n$ , которые при направлении потока от реки к берегу считаются положительными. Расчет производится по формуле



$n$  — число разностей уровней воды в скважинах, определенных через равные промежутки времени, включая уровень перед паводком  $\Delta H_1$ ;

$F_{1-2}$  — площадь насыщения, ограниченная кривыми депрессии до паводка, и при его максимуме, а также линией  $MN$ , проходящей посередине между скважинами №1 и №2.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОУДАЧИ ПОРОД

Водоотдача пород (при снижении уровней) или недостаток насыщения пород в зоне колебаний уровня грунтовых вод (при повышении уровня) могут быть определены по уравнению Г. Н. Каменского в конечных разностях при наличии трех наблюдательных скважин. Так, например, при спаде уровня в зимнее время, когда инфильтрация равна нулю, водоотдача пород в пределах зоны колебаний уровня может быть определена по формуле

$$\mu = \frac{k \Delta t}{2\Delta x^2 (H_2 - H_3)} (h_1 + h_2)(H_1 - H_2) - (h_2 + h_3)(H_2 - H_3), \quad (\text{VI}, 19)$$

где  $h_1$ ,  $h_2$  и  $h_3$  — мощности водоносного горизонта соответственно в первой, второй и третьей скважинах;

$H_1$ ,  $H_2$  и  $H_3$  — напоры водоносного горизонта также в первой, второй и третьей скважинах в условиях наклонного водоупора (см. рис. 13).

$\Delta x$  — расстояние между скважинами.

При разных расстояниях между скважинами  $l_{1-2}$  и  $l_{2-3}$  данное уравнение может быть выражено следующим образом:

$$\mu = \frac{2k \Delta t}{\Delta H (l_{1-2} + l_{2-3})} \left( \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_3}{l_{1-2}} \right) - \frac{h_2 + h_3}{2} \cdot \frac{H_2 - H_3}{l_{2-3}}. \quad (\text{VI}, 20)$$

При горизонтальном водоупоре это уравнение принимает более простой вид

$$\mu = \frac{2k \Delta t}{\Delta H (l_{1-2} + l_{2-3})} \left( \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l_{1-2}} - \frac{h_2^2 - h_3^2}{2l_{2-3}} \right). \quad (\text{VI}, 21)$$

Вопросам определения водоотдачи и недостатка насыщения пород посвящено много работ А. В. Лебедева, Г. Н. Каменского, Н. Н. Биндемана и др.

## ОЦЕНКА ЕСТЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД;

Оценка естественного питания или естественного восполнения запасов подземных вод является одним из основных элементов в общем комплексе гидрогеологических исследований на участках водозаборов. Размеры естественного восполнения запасов подземных вод определяют: будет ли эксплуатация подземных вод вестись в условиях установившегося режима в течение неограниченно большого промежутка времени или, наоборот, эксплуатация подземных вод приведет к неизбежному истощению их запасов. Таким образом, оценка естественного восполнения запасов подземных вод необходима для определения обеспеченности во времени эксплуатационных запасов и возможности их изъятия.

Кроме того, оценка естественного питания подземных вод позволяет определить тот минимум эксплуатационных запасов (без привлекаемых запасов и сработки статических запасов), на который можно рассчитывать в течение неограниченно большого промежутка времени.

Как мы уже отмечали вначале, расчеты сезонного восполнения запасов подземных вод, исходя из практики ГКЗ, производятся чаще всего недостаточно обоснованно. Расчеты, как правило, ведутся по амплитудам колебаний уровня подземных вод, полученным в результате одного-двух лет наблюдений, т. е. без необходимого обоснования обеспеченности этих амплитуд в многолетнем разрезе. Кроме того, размеры восполнения определяются во всех случаях либо непосредственно по величине амплитуды колебаний уровня, наблюдавшейся за этот промежуток времени, либо увеличивая ее по прямолинейной зависимости на какую-то величину  $\Delta h$  (по Биндеману, 1963), учитывающую постоянство размеров стока во времени, независимо от изменений мощности водоносного горизонта. Такой подход, не учитывающий различий в условиях формирования режима подземных вод в разных природных условиях, не может не привести к существенным ошибкам.

Методы оценки размеров питания подземных вод для разных видов их режима должны быть различными, учитывающими генетические различия условий формирования режима подземных вод и, в частности, характер и условия их питания.

Особенно важно учитывать это для грунтовых вод. Так, в пределах участка изысканий могут быть выделены четыре наиболее распространенных вида режима грунтовых вод: приречный (или прибрежный), террасовый, склоновый и междуречный (или водораздельный). Разный характер режима грунтовых вод этих видов, приуроченных к определенным геоморфологическим элементам, определяется главным образом отличием граничных условий участков распространения водоносных горизонтов в пределах этих геоморфологических элементов, а также нередко и различием литологического состава водовмещающих пород, глубин залегания грунтовых вод, а следовательно, и разными условиями возможности инфильтрации атмосферных осадков до грунтовых вод, различием почв, растительности и других факторов, формирующих и определяющих особенности режима грунтовых вод.

Не останавливаясь на значении и влиянии каждого из перечисленных выше факторов в формировании режима грунтовых вод, охарактеризуем лишь различие в методах оценки размеров питания грунтовых вод в различных гидрогеологических условиях, характеризующихся разными видами режима грунтовых вод.

Приречный вид режима. Режим подземных вод приречного вида, а следовательно, и амплитуды колебаний уровней грунтовых вод приречных зон находятся в тесной зависимости от режима поверхностных вод, амплитуды колебаний уровня грунтовых вод в приречной

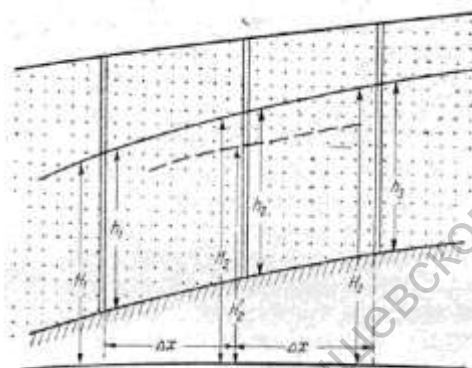


Рис. 13. Расчетная схема для определения водоотдачи методом конечных разностей



зоне определяются в основном подъемом уровня поверхностных вод. При этом с подъемом уровня воды в реке (для зон, где реки дренируют грунтовые воды) происходит подпор грунтовых вод, т. е. их разгрузка в этот момент прекращается. Следовательно, только для приречного вида режима грунтовых вод амплитуда колебания уровня грунтовых вод в чистом виде или зона (заштрихованная) насыщения (см. рис. 12), образовавшаяся при подъеме уровня грунтовых вод, характеризует точно размеры восполнения запасов грунтовых вод на период их питания. Поэтому только для приречного вида режима грунтовых вод для расчета естественного восполнения запасов подземных вод могут быть взяты непосредственно наблюдавшиеся амплитуды колебаний уровня грунтовых вод.

Во всех же остальных случаях необходимо учитывать то, что при подъеме уровня грунтовых вод во время их питания одновременно происходит увеличение размеров стока (или разгрузки) этих вод. Наблюдаемые же изменения в уровнях грунтовых вод представляют собой разность как увеличившегося питания, так и увеличившейся разгрузки грунтовых вод. Учитывая то обстоятельство, что в процессе эксплуатации условия естественной разгрузки грунтовых вод резко изменяются (и она вообще может отсутствовать, так как весь поток грунтовых вод будет направлен в сторону водозабора), необходимо по данным режимных наблюдений установить размеры естественного питания грунтовых вод в полном объеме.

Для рек среднеазиатского типа (постоянно питающих грунтовые воды) размеры восполнения запасов грунтовых вод на единицу длины потока для приречного вида режима во время паводка могут быть приближенно оценены по формуле

$$Q = k \cdot \Delta h_{\text{ср}} I_{\text{ср}} \Delta t, \quad (\text{VI, 22})$$

где  $\Delta h_{\text{ср}}$  — средняя амплитуда подъема уровня воды в реке или в скважине, расположенной у уреза реки (рис. 14),  
 $I_{\text{ср}}$  — средний уклон потока между двумя скважинами

$$I_{\text{ср}} = \frac{(h_1 + \Delta h_1) - (h_2 - \Delta h_2)}{\Delta x};$$

$\Delta x$  — расстояние между двумя скважинами;

$k$  — коэффициент фильтрации;

$\Delta t$  — период паводка.

Террасовый вид режима характеризуется относительной стабильностью, т. е. сравнительно малыми колебаниями уровней грунтовых вод. Это связано прежде всего с тем, что развитые в тыловых частях террас или пойм заболоченные понижения, озера или просто участки с близким от поверхности земли залеганием уровня грунтовых вод (рис. 15) как бы стабилизируют колебания уровня грунтовых вод за счет повышенного в этих частях

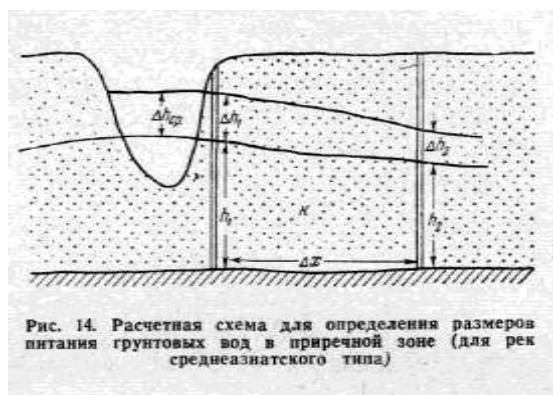


Рис. 14. Расчетная схема для определения размеров питания грунтовых вод в приречной зоне (для рек среднеазиатского типа)

испарения, а также капиллярного и поверхностного сброса излишков воды. Таким образом, террасовый вид режима определяется своеобразными условиями формирования режима грунтовых вод, которые могут быть схематизированы, по терминологии Ф. М. Бочевера, как «пласт-полоса», с постоянными напорами на границах пласта. В таких условиях размеры оттока грунтовых вод со стороны террас во времени существенно изменяться не могут.

Амплитуда колебаний уровня при террасовом виде режима может быть с достаточной для практических целей точностью определена при помощи графического приема, предложенного Н. Н. Биндеманом (1963). Этот прием заключается в следующем: по этапу спада уровня, происходящего в условиях отсутствия питания (например, в зимний период,

когда зона аэрации проморожена, или летом при отсутствии дождей), когда грунтовые воды только расходуются подземным стоком, определяется темп этого спада. Во время подъема уровня весной на какую-то величину  $\Delta z$  (рис. 16) предполагается, что темп подземного стока существенно не изменился. Поэтому, продолжив графически спад уровня за время питания грунтовых вод  $\Delta t$ ,

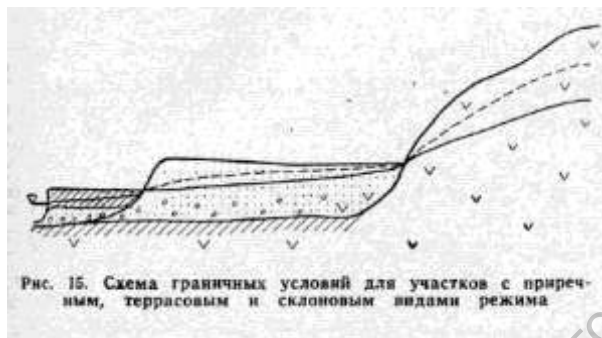


Рис. 15. Схема граничных условий для участков с приречным, террасовым и склоновым видами режима

определяют точку  $A$ , до которой снизился бы уровень грунтовых вод при отсутствии их питания. В результате истинная (расчетная) величина амплитуды подъема уровня  $\Delta h_1$  отличается от фактически наблюдавшейся амплитуды  $\Delta z$  на величину  $x$ , достигающую иногда значительных размеров. Аналогичным образом определяются амплитуды подъемов уровня и в другие периоды питания грунтовых вод ( $\Delta h_2, \Delta h_3, \dots, \Delta h_n$ ), после чего размеры годового восполнения запасов грунтовых вод определяются по формуле

$$Q = \sum (\Delta h_1, \Delta h_2, \Delta h_3) \mu F, \quad (\text{VI}, 23)$$

где  $\mu$  — недостаток насыщения пород в зоне аэрации;  
 $F$  — площадь рассматриваемого участка с данным видом режима грунтовых вод.

Склоновый вид режима характеризуется слабой связью с атмосферными осадками, которые в условиях сильно расчлененного рельефа главным образом расходуются на поверхностный сток. Питание же грунтовых вод склонов осуществляется в основном за счет транзитных вод — со стороны водораздела и разгрузки подземных вод из межпластовых водоносных горизонтов. В результате подъемы и спады уровней грунтовых вод хорошо коррелируются с таковыми на междуречных пространствах и следуют за ними с определенным отставанием. Разгрузка грунтовых вод на склонах осуществляется либо в виде источников, либо в виде скрытых очагов в тыловых частях террас. И в том, и в другом случае условия формирования режима грунтовых вод на склонах могут быть схематизированы в виде полуограниченного пласта с постоянным напором на нижней границе пласта. Выход водоносного горизонта на поверхность (непосредственный или скрытый) приводит к тому, что в условиях отсутствия питания

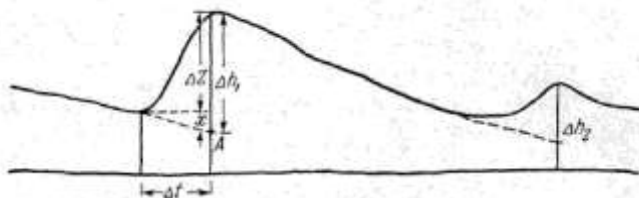


Рис. 16. Схема расчета размеров питания грунтовых вод при террасовом виде режима

идет снижение уровня грунтовых вод, подчиняющееся определенной закономерности так называемого «независимого режима», описанной уравнением Майэ-Буссинеска:

$$Q = Q_0 e^{-at}, \quad (\text{VI}, 24)$$

где  $Q$  — дебит источника в момент времени  $t$ ;

$Q_0$  — дебит источника в начальный момент (при прекращении питания подземных вод);

$t$  — время с начала прекращения питания подземных вод;

$a$  — коэффициент истощения.

Учитывая, что между мощностью водоносного горизонта и расходами источников существует прямая зависимость, а также, что уклоны потока в период питания меняются

несущественно, можно (по аналогии с уравнением VI, 24) записать данные уравнения относительно мощности водоносного горизонта в соответствии с обозначениями, представленными на рис. 17, следующим образом:

$$H_{n+1} = \beta H_n e^{-a(t_{n+1} - t_n)}, \quad (\text{VI, 25})$$

где  $H_{n+1}$  — искомая величина превышения мощности водоносного горизонта в районе наблюдательной скважины над уровнем разгрузки вод на время  $t_{n+1}$

$H_n$  — известное значение превышения мощности водоносного горизонта за наблюдавшееся ранее время  $t_n$ ;

$\beta$  — коэффициент, учитывающий степень связи расхода и мощности водоносного горизонта.

После определения коэффициента  $a$  коэффициент в легко определяется из уравнения (VI, 25) и в дальнейших расчетах может быть принят величиной постоянной.

Коэффициент истощения  $a$  может быть определен на любом отрезке независимого спада уровня грунтовых вод (т. е. при отсутствии питания) по формуле

$$a = \frac{\ln H_{n-1} - \ln H_n}{t_n - t_{n-1}} = \text{const.} \quad (\text{VI, 26})$$

Для определения размеров питания грунтовых вод по скважинам, расположенным на участках, характеризуемых склоновым видом режима, необходимо время подъема уровня (от минимального его положения и до максимума) разделить на равные промежутки времени. При этом, чем более дробно будет разбит данный отрезок, тем точнее будет результат. Однако, для практических целей достаточно выделить лишь четыре промежутка времени ( $t_1$ ;  $t_2$ ;  $t_3$  и  $t_4$ ) и рассчитать для каждого из них амплитуду подъема уровня грунтовых вод ( $\Delta h_1$ ,  $\Delta h_2$ ,  $\Delta h_3$  и  $\Delta h_4$ ; см. рис. 17).

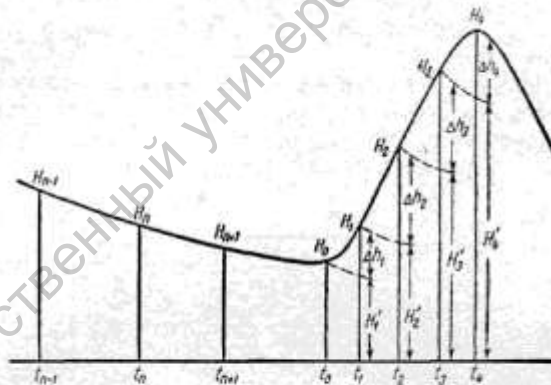


Рис. 17. Схема расчета размеров питания грунтовых вод (в м) при склоновом виде режима

Так, например, для первого промежутка времени ( $t_1 - t_0$ ), соответствующего началу подъема, положение уровня или мощность водоносного горизонта ( $H_1'$ ), которая была бы при отсутствии питания грунтовых вод в момент времени  $t_1$  можно определить по формуле (VI, 25), как  $H_1' = H_0 e^{-a(t_1 - t_0)}$ .

Однако в результате питания мощность горизонта стала равна  $H_1$ . Следовательно, размеры питания за данный промежуток времени могут быть определены как  $(H_1 - H_1') = \Delta h_1$ .

В следующий промежуток времени ( $t_2 - t_1$ ), если бы питание со времени  $t_1$  прекратилось, уровень грунтовых вод снизился бы ко времени  $t_2$  до  $H_2' = H_1 e^{-a(t_2 - t_1)}$ , а следовательно, размеры питания за это время определяются как  $H_2 - H_2' = \Delta h_2$ . Аналогичным образом определяются амплитуды подъема уровня грунтовых вод и за периоды времени  $t_2 - t_3$  и  $t_3 - t_4$ :  $\Delta h_3 = H_3 - H_3'$ , где  $H_3' = H_2 e^{-a(t_3 - t_2)}$  и  $\Delta h_4 = H_4 - H_4'$ , где  $H_4' = H_3 e^{-a(t_4 - t_3)}$ .

Суммарное питание грунтовых вод  $W$  за весь период питания  $\Delta t$ , таким образом, может быть определено на единицу площади как

$$W \cdot \Delta t = (\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4) \cdot \mu, \quad (\text{VI, 27})$$

где  $\mu$  — водоотдача пород.

Междуречный вид режима. Междуречный (или водораздельный, по Г. Н. Каменскому) вид режима характеризуется тесной связью колебаний уровня грунтовых вод с атмосферными осадками. Условия формирования режима грунтовых вод междуречных пространств могут быть схематизированы как «неограниченный пласт». При равномерном питании грунтовых вод (что может быть принято при сравнительно однородном геологическом строении участка изысканий и небольших вариациях глубин залегания грунтовых вод в пределах зоны влияния будущего водозабора) подъем их уровня происходит параллельно первоначальным уровням (рис. 18, а). Следовательно, уклоны поверхности грунтовых вод ( $I$ ) в момент подъема уровня практически не изменяются. Учитывая же то, что фильтрационные свойства водоносного горизонта в этот момент также не меняются, становится понятным, что размеры подземного стока в таких условиях практически прямо пропорциональны изменениям мощности водоносного горизонта и зависят лишь от нее. В соответствии с этим, рассчитав в период отсутствия

питания размер (или темп) подземного стока как  $\frac{h_1 - h_2}{\Delta t_1}$ , при средней мощности  $\frac{h_1 + h_2}{2} = h_{cp}$  для данного периода, можно затем определить изменения размеров стока при любом положении уровня грунтовых вод (по прямой зависимости величины стока в метрах от средней мощности водоносного горизонта за любой другой промежуток



Все обозначения иллюстрируются рис. 18 б.

### ОЦЕНКА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПИТАНИЯ ВО ВРЕМЕНИ

Определенные одним из четырех приведенных выше методов амплитуды колебания уровня еще не могут быть положены в основу расчета естественного восполнения запасов подземных вод. Наблюдавшиеся амплитуды при коротких периодах наблюдений могут оказаться случайными, не характеризующими ни среднемноголетних амплитуд, ни тем более амплитуд 95%-ной обеспеченности. Поэтому так же, как и при определении обеспеченности во времени мощностей водоносных горизонтов, необходимо провести соответствующий анализ по оценке обеспеченности наблюдавшихся амплитуд колебаний уровней грунтовых вод в многолетнем разрезе.

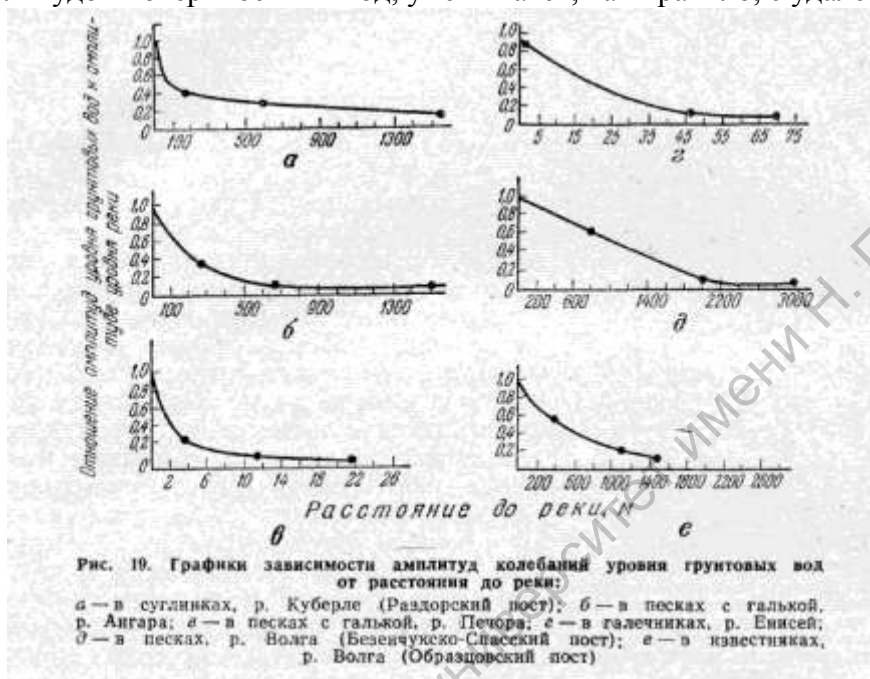
Для этой цели, так же как и при анализе изменений во времени мощностей водоносного горизонта, необходимо определить основные режимобразующие факторы, от которых зависят размеры амплитуд колебаний уровней, установить с этими факторами коррелятивные зависимости (графические или аналитические) и затем, имея длительные периоды наблюдений за этими факторами, нарастить короткие ряды наблюдений за колебаниями уровня подземных вод.

Для большинства случаев основным режимобразующим фактором, определяющим

размеры амплитуд колебаний уровня, является режим поверхностных вод и атмосферных осадков. Поэтому для удлинения рядов наблюдений могут быть использованы две основные зависимости:

- 1) между амплитудой колебаний уровня поверхностных вод и амплитудой подземных вод и
- 2) между суммой атмосферных осадков и амплитудой подземных вод.

Первая зависимость может быть использована лишь для приречного вида режима, где режим подземных вод в основном определяется режимом поверхностных вод. Амплитуды колебаний уровней подземных вод, следовательно, теснейшим образом связаны с амплитудой поверхностных вод, уменьшаясь, как правило, с удалением от реки (рис. 19).



Поэтому, зная амплитуды колебаний уровней грунтовых вод и поверхностных вод за один или два года, можно также составить длинный ряд данных об амплитудах колебаний уровней по известному длинному ряду наблюдений по ближайшему гидрометрическому створу.

На остальных территориях основным режимообразующим фактором являются атмосферные осадки. При этом годовая амплитуда колебаний уровней, определяемая главным образом по разности между весенним максимумом и предвесенним минимумом уровня подземных вод, зависит в основном от суммы осадков за зимний период или от запасов воды в снеге. Построенные многочисленные графики зависимости весеннего подъема уровня грунтовых вод от запасов воды в снеге показывают наличие либо почти прямой (рис. 20, а), либо параболического вида зависимости (рис. 20, б). Для большей части районов страны характерно, что величина весеннего подъема уровня определяет величину всей годовой амплитуды колебаний уровня грунтовых вод; поэтому выявленная закономерность может явиться основной для экстраполяции данных по амплитудам колебаний уровней в зависимости от суммы зимних осадков. Для этого с ближайшей к району изысканий метеостанции могут быть получены данные по зимним осадкам по всему существующему периоду наблюдений. При этом в сумму зимних осадков могут быть отнесены все осадки, выпавшие за период с устойчиво отрицательными температурами воздуха.

По данным конкретных наблюдений за режимом уровня грунтовых вод предварительно устанавливается зависимость амплитуд колебаний уровня (в м) от суммы зимних осадков (в мм), для чего необходимо минимум три года наблюдений. После этого, зная количество зимних осадков за предыдущие годы, когда наблюдений за режимом грунтовых вод не было, можно снять прямо с графика величины амплитуд колебаний уровней грунтовых вод, соответствующие величинам зимних осадков за предыдущие

годы. Таким образом, на основании этих зависимостей может быть получен длинный ряд многолетних амплитуд колебаний уровня грунтовых вод для участка водозабора, который уже можно статистически обрабатывать.

## НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

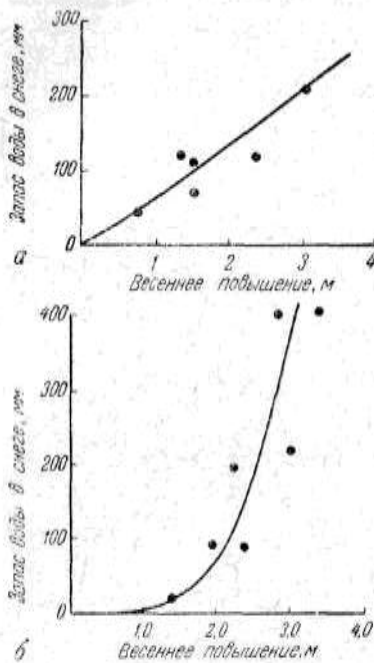


Рис. 20. Графики зависимости величины весеннего подъема уровня грунтовых вод от запасов воды в снеге (из материалов гидрогеологической станции Центрально-черноземной полосы)

а — прямая зависимость; б — параболическая зависимость.

Полученные указанными выше способами многолетние данные по мощностям водоносных горизонтов и амплитудам уровней подземных вод на участке гидрогеологических исследований под водозабор позволяют уже правильно выбрать для расчета тот или иной параметр на основе статистического анализа имеющихся его значений. В частности, на основании полученных данных могут быть определены в зависимости от принятой схемы расчета запасов подземных вод необходимые для него: 1) средние многолетние мощности и амплитуды колебаний уровней подземных вод; 2) мощности и амплитуды колебаний уровней подземных вод разной степени обеспеченности; 3) интервалы максимально возможных отклонений значений уровней подземных вод от средних.

Не останавливаясь на не требующем пояснений определении среднемноголетних значений указанных параметров, кратко поясним принцип построения графика обеспеченности. Графики обеспеченности широко внедрены в практику гидрогеологических исследований.

В гидрогеологических же работах они еще не нашли необходимого применения, несмотря на то, что их значение очевидно и для гидрогеологических работ. При анализе и обобщении массового материала как по мощностям и амплитудам колебаний уровней подземных вод, так и в отдельных случаях и при выборе других расчетных параметров (особенно для региональных обобщений) должна быть дана оценка этих данных с точки зрения их обеспеченности как во времени, так и в пространстве.

При построении графика обеспеченности (рис. 21) по оси ординат откладываются значения мощностей, амплитуд или какого-либо другого расчетного параметра, а по оси абсцисс — обеспеченность в процентах. Затем вычисляется выражение одного из значений в процентах, принимая за 100% сумму всех значений. После этого, суммируя последовательно значения оцениваемого параметра от большего из них к меньшему, в процентах, откладываются эти суммы на график. В качестве примера приведем график обеспеченности амплитуд колебаний уровней грунтовых вод по одному из месторождений подземных вод в Казахстане. Всего имеется 33 значения амплитуд от 0,26 до 0,92 м. Следовательно, каждое из этих значений соответствует 3%. Следовательно, против минимального значения амплитуды откладывается точка соответствующая 3%, против следующего — 6% и т. д. Соединив все точки, построенные таким путем, получим кривую обеспеченности, с которой, задаваясь любой степенью обеспеченности (97, 95, 50% и др.), можно легко получить соответствующую им амплитуду колебаний уровня подземных вод. Аналогичным путем могут быть получены и разной степени обеспеченности мощности водоносного горизонта, а также другие параметры.

Из математической статистики известно, что точность представлений о средних (например, среднемноголетних уровней подземных вод или их амплитуд) и возможных отклонений от этих средних амплитуд зависит от продолжительности периода наблюдений. Поэтому при наличии ограниченного числа наблюдений исследователь не всегда может достаточно обоснованно определить как среднемноголетнюю, так и любой

другой обеспеченности величину искомого параметра.

В этих случаях для получения представлений о возможных колебаниях уровня подземных вод (или их амплитуд) могут быть использованы известные в математической статистике приемы, использующие: 1) метод доверительных интервалов и 2) правило «трех сигм».

Анализ наблюдений за режимом подземных вод при помощи доверительных интервалов позволяет определить те пределы  $a$  и  $b$ , между которыми расположатся все значения или подавляющая их часть из бесконечно большого числа наблюдений с наперед заданной точностью.

Эти пределы могут быть определены из формул:

$$a = \bar{H} - t_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{и} \quad b = \bar{H} + t_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (\text{VI, 29})$$

где  $\bar{H}$  — среднееголетнее значение мощности водоносного горизонта (или амплитуды колебаний уровня),

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n};$$

$\sum_{i=1}^n H_i$  — сумма значений всех отдельных наблюдений  $H$ ;

$n$  — число наблюдений или так называемый объем выборки (при  $n < 30$ , вместо  $n$  принимается  $n - 1$ );

$\sigma$  — среднееквадратичное отклонение,

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}{n - 1}};$$

$t_{\alpha}$  — распределение Стьюдента. Определяется по таблице в зависимости от доверительной вероятности ( $\alpha$ ) и числа наблюдений (см. табл. 18).

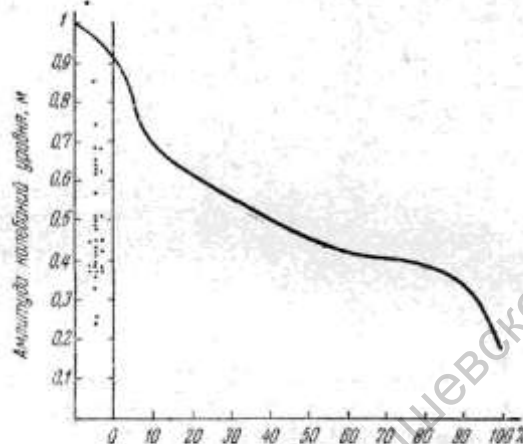


Рис. 21. График обеспеченности амплитуд колебаний уровня грунтовых вод



Таблица 18

Распределение нормированных отклонений  $t\alpha$  в зависимости от объема выборки  $(n-1)$  и вероятности  $(\alpha)$

$n-1 \backslash \alpha$	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
1	1,96	3,08	6,31	12,71	31,82	63,66
2	1,39	1,89	2,92	4,30	6,97	9,93
3	1,25	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84
4	1,19	1,53	2,13	2,78	3,75	4,60
5	1,16	1,48	2,02	2,57	3,37	4,03
6	1,19	1,44	1,94	2,45	3,14	3,70
7	1,12	1,42	1,90	2,37	3,00	3,50
8	1,11	1,40	1,86	2,30	2,90	3,36
9	1,10	1,38	1,83	2,46	2,82	3,25
10	1,09	1,37	1,81	2,23	2,76	3,17
11	1,09	1,36	1,80	2,20	2,72	3,11
12	1,08	1,36	1,78	2,18	2,68	3,06
13	1,08	1,35	1,77	2,16	2,65	3,01
14	1,08	1,35	1,76	2,14	2,62	2,98
15	1,07	1,34	1,75	2,15	2,60	2,96
16	1,07	1,34	1,75	2,12	2,58	2,92
17	1,07	1,33	1,74	2,11	2,57	2,90
18	1,07	1,33	1,73	2,10	2,55	2,88
19	1,07	1,33	1,73	2,09	2,54	2,86
20	1,06	1,33	1,72	2,09	2,53	2,85
21	1,06	1,32	1,72	2,08	2,52	2,83
22	1,06	1,32	1,72	2,07	2,51	2,82
23	1,06	1,32	1,71	2,07	2,50	2,81
24	1,06	1,32	1,71	2,06	2,49	2,80
25	1,06	1,32	1,71	2,06	2,49	2,79
26	1,06	1,32	1,71	2,06	2,48	2,78
27	1,06	1,31	1,70	2,06	2,47	2,77
28	1,06	1,31	1,70	2,05	2,47	2,76
29	1,06	1,31	1,70	2,05	2,46	2,76
30	1,06	1,31	1,70	2,04	2,46	2,75
$\infty$	1,03	1,28	1,65	1,96	2,33	2,58

Таким образом, задавая определенную вероятность (или надежностью  $\alpha$ ) точности значений параметра, можно, используя доверительные интервалы, устанавливать пределы возможного разброса значений искомого параметра  $H$  или  $\Delta h$ . С целью создания определенного запаса «прочности» в гидрогеологических расчетах особенно важно знать минимальные пределы колебаний  $H$  или  $\Delta H$  (чаще всего 95%-ной обеспеченности). Гарантированные значения показателей  $H$  или  $\Delta h$  могут вычисляться одновременно для нескольких доверительных вероятностей, затем наноситься на график зависимости гарантированного значения показателя от доверительной вероятности  $\alpha$ . График строится на специальной вероятностной бумаге (рис. 22). Значения искомого параметра могут быть затем сняты с графика в зависимости от необходимой степени обеспеченности расчетов.

Применение доверительных интервалов, строго говоря, возможно лишь для нормального закона распределения, однако, учитывая, что в большинстве случаев колебания уровней подземных вод подчиняются нормальному или биномиальному законам распределения, а также то, что при большом числе наблюдений (значений  $n$ ) вероятность событий, связанных с биномиальным распределением, с хорошим приближением может быть описана с помощью нормального закона распределения (теорема Лапласа), доверительные интервалы могут быть использованы в практике гидрогеологических исследований достаточно широко (практически для любого случая).

Лишь при весьма ограниченном числе наблюдений для применения доверительных интервалов необходима проверка закона распределения (для избежания резкого занижения параметров). Проверка нормальности распределения производится при помощи критерия «хи»-квадрат ( $\chi^2$ ), на описании которого мы останавливаться не будем, так как этот метод достаточно подробно изложен во всех курсах математической статистики.

Другим более грубым приемом оценки возможного разброса значений параметров является применение правила «трех сигм» ( $3\sigma$ ) или трехсигмовых пределов, основанного на установленной в математической статистике закономерности, заключающейся в том,



что все значения искомых величин (99,7%), как правило, укладываются в пределах  $\pm 3\sigma$  от среднеемноголетнего значения этой величины.

Исходя из этого и рассчитав среднюю многолетнюю величину мощности водоносного горизонта или среднеемноголетнюю амплитуду колебаний уровня подземных вод, а также, определив среднееквадратическое отклонение значений ( $\sigma$ ) от этих средних, можно определить минимальное значение мощности или амплитуды, отняв от среднеемноголетнего значения величину, равную  $3\sigma$ .



Рис. 22. График зависимости

Установлено, что 95% всех значений располагается в пределах от минус  $1,96\sigma$  до плюс  $1,96\sigma$  (по обе стороны от среднего значения искомого параметра). Все значения выбираемого параметра, выходящие за эти пределы, могут рассматриваться как случайные, не характерные, вызванные либо результатом какой-либо ошибки, либо каким-нибудь случайным стечением обстоятельств.

Полученные путем доверительных интервалов или сигмовых пределов минимальные значения параметра могут быть использованы также для определения средних минимальных значений данного параметра по формуле

$$x_{\text{ср. мин}} = \frac{\bar{x} + x_{\text{мин}}}{2}, \quad (\text{VI}, 30)$$

где  $\bar{x}$  — среднее арифметическое значение;  
 $x$  — минимальное значение.

## МЕТОДИКА ОПЫТНЫХ РАБОТ

Опытные работы (откачки и наблюдения за восстановлением уровня при остановке водозаборов подземных вод) являются основным видом работ при гидрогеологических исследованиях, выполняемых для оценки эксплуатационных запасов подземных вод при водоснабжении и орошении земель.

По своему назначению откачки подразделяются на пробные, опытные и опытно-эксплуатационные.

Пробные откачки производятся для предварительной оценки водоносности вскрытого горизонта и качества подземных вод и определения возможного дебита одиночной скважины.

Целью опытных откачек является:

- 1) установление зависимости дебита скважины от понижения уровня воды в ней (кривая дебита);
- 2) определение так называемого «внутреннего сопротивления», возникающего под влиянием фильтра скважины и процессов, протекающих в призабойной зоне;
- 3) определение коэффициентов фильтрации и водопроницаемости водоносных горизонтов;
- 4) определение коэффициента пьезопроводности или уровнепроводности;
- 5) определение величин срезок уровня в пределах участка возможного расположения водозабора при совместной работе эксплуатационных скважин;
- 6) определение приведенного радиуса влияния. Опытные-эксплуатационные откачки проводятся в особо сложных гидродинамических и гидрохимических условиях для определения возможных изменений расхода, уровня и качества воды во времени. Такие откачки следует проводить только в сложных гидрогеологических условиях, которые невозможно представить в виде расчетной схемы без существенных погрешностей.

Методика откачек (выбор типа откачки — одиночная или кустовая, количество и

положение наблюдательных скважин, продолжительность откачек, количество понижений, их последовательность) определяется целевым назначением откачки, стадией проведения работ и гидрогеологическими условиями. Гидрогеологические условия и режим работы скважины обуславливают режим движения подземных вод при опытных откачках, в зависимости от особенностей которого выбирается методика проведения откачек. В связи с этим кратко охарактеризуем режим подземных вод при опытных откачках.

### **РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ ОПЫТНЫХ ОТКАЧКАХ**

Процесс развития депрессионной воронки во время опытной откачки является достаточно сложным, так как формирование депрессионной поверхности происходит под воздействием ряда факторов, важнейшими из которых являются осушение пласта (в безнапорных водах) или влияние упругого режима (в напорных водах). Однако даже при непродолжительных откачках (порядка нескольких суток) с постоянным дебитом в зоне, окружающей скважину, режим движения подземных вод приобретает квазистационарный характер, т. е. кривые депрессии перемещаются параллельно самим себе. Размеры зоны, в которой практически наступило квазистационарное состояние, зависят от литологического состава водовмещающих пород, гидравлического характера горизонта и продолжительности откачки.

Так, при продолжительности откачек 1—2 суток радиус этой зоны колеблется от 20 до 100 м в безнапорных водах и от 200 до 1500 м — в напорных. При длительных откачках, которые производятся для прогноза понижений уровней в эксплуатационных скважинах во времени, размеры воронки депрессии становятся столь значительными, что в некоторых случаях на ее формирование начинают оказывать существенное влияние процессы перетекания из ниже- и вышележащих горизонтов и границы водоносного пласта в плане.

Процессы перетекания приводят к стабилизации понижения в центральных и наблюдательных скважинах, влияние же границ пласта может быть различным. Если скважина расположена близ реки, гидравлически связанной с водоносным горизонтом, то происходит быстрая стабилизация уровня; при непроницаемом контуре, наоборот, скорость понижения уровня во времени возрастает.

Из анализа режима движения подземных вод при откачках ясно, что требование — в любых гидрогеологических условиях производить откачку до установившегося дебита и понижения — является необоснованным, так как во многих случаях стабилизация уровня при постоянном дебите или стабилизация дебита при постоянном уровне может произойти через десятки лет. Поэтому мнение о том, что откачку, которая была прекращена до стабилизации уровня, следует считать «некондиционной», ошибочно. Кроме того, нужно учитывать, что только откачка при неустановившемся режиме может дать обоснованные данные для прогноза развития депрессионной воронки во времени.

Перейдем теперь к характеристике методики проведения откачек.

### **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ОТКАЧЕК**

Пробные откачки. Из целевого назначения пробных откачек (предварительная оценка водоносности вскрытых горизонтов, качества воды и возможного дебита одиночной скважины) следует, что они проводятся для выбора водоносных горизонтов и участков для проведения разведочных работ. Эти откачки проводятся из одиночных скважин с одним понижением уровня на поисковой стадии и в некоторых случаях на стадии предварительной разведки. Продолжительность пробных откачек составляет 1—3 смены.

Опытные откачки являются основным видом гидрогеологических работ, проводящихся на стадии предварительной и детальной разведки подземных вод. Опытные откачки подразделяются на откачки из одиночных скважин и кустовые. Последние обладают рядом преимуществ перед одиночными, так как позволяют исключить влияние фильтра скважины и призабойной зоны. Не учет этих факторов может существенно повлиять на величину определяемых параметров.

Поэтому для решения большинства перечисленных выше задач целесообразнее проводить кустовые откачки. Исключение составляют только откачки, которые проводятся для определения зависимости между дебитом и понижением, а также на стадии предварительной разведки — откачки для определения коэффициента фильтрации, так как на этой стадии, целью которой является сравнительная оценка различных горизонтов и участков, не требуется большая точность в определении коэффициента фильтрации. В опубликованной литературе (Тененбаум, Гринбаум, 1965) имеются рекомендации об отказе от наблюдательных скважин при откачках, проводимых с целью определения коэффициента фильтрации. Однако эти рекомендации получены на основании анализа материалов очень небольшого количества откачек одного типа месторождения подземных вод и они не учитывают того, что кустовые откачки позволяют охарактеризовать коэффициент фильтрации на значительно большей площади, чем одиночные. Кроме того, следует иметь в виду, что, как показывает имеющийся опыт, только имея наблюдательные скважины, можно правильно рассчитать коэффициент проницаемости, учесть сопротивление фильтра скважины и призабойной зоны, а также получить данные о срезках уровня, необходимые при применении гидравлического метода оценки эксплуатационных запасов подземных вод.

Таким образом, на стадии детальной разведки должны, как правило, проводиться кустовые откачки, причем в качестве наблюдательных, должны по возможности использоваться пробуренные на участке разведочные, разведочно-эксплуатационные скважины, а также эксплуатационные скважины. Особенно это относится к глубоко залегающим артезианским водоносным горизонтам, где бурение специальных наблюдательных скважин стоит очень дорого.

При проектировании наблюдательных скважин следует учитывать, что рекомендации о расположении наблюдательных скважин обязательно по лучам, нормальным к направлению потока или совпадающим с ним, не всегда оправданы. Количество лучей и их положение определяются степенью однородности водоносного горизонта, граничными условиями и схемой водозабора. В однородных пластах, когда водозаборы располагаются на большом удалении от границ водоносного горизонта, достаточно иметь один луч из двух-трех наблюдательных скважин, расположенных по линии заложения водозаборных скважин. При расположении водозабора у реки или вблизи контакта с другими отложениями, кроме того, целесообразно иметь луч скважин, направленный от водозабора к границе. В луче, параллельном реке, расстояние между центральной и наблюдательной скважинами не должно превышать расстояния от скважины до реки.

И, наконец, в трещиноватых породах, часто обладающих анизотропными фильтрационными свойствами, желательно иметь два луча наблюдательных скважин — по основному направлению трещиноватости и перпендикулярно этому направлению.

При наличии в разрезе нескольких водоносных горизонтов, которые могут быть гидравлически связаны друг с другом, желательно иметь наблюдательные скважины на различные горизонты.

Расстояние между наблюдательными скважинами и продолжительность опытных откачек взаимосвязаны. Наблюдательные скважины следует располагать таким образом, чтобы они находились в зоне квазистационарной фильтрации, что в значительной мере облегчает расчет гидрогеологических параметров, и чтобы абсолютные величины понижений уровня в них были достаточно велики.

Если принять условие, что понижение в первой наблюдательной скважине должно составлять не менее 20%, а во второй скважине не менее 10% от понижения в центральной, то для назначения расстояний до наблюдательных скважин можно руководствоваться табл. 20.

Таблица 20

Тип горной породы	Тип водоносного горизонта	Максимальное расстояние, м	
		до первой наблюдательной скважины	до второй наблюдательной скважины
Мелко- и среднезернистые пески	Напорные воды	80	150
	Безнапорные воды	10	15
Крупнозернистые пески	Напорные воды	200	450
	Безнапорные воды	15	30
Гравийно-галечниковые отложения	Напорные воды	200	450
	Безнапорные воды	25	40
Трещиноватые породы	Напорные воды	80	150
	Безнапорные воды	30	50

Расположение наблюдательных скважин на рекомендуемых расстояниях позволяет охарактеризовать сравнительно большую зону. Однако в тех случаях, когда понижение в центральной скважине невелико, а следовательно, и понижения в наблюдательных скважинах и особенно их изменения во времени крайне малы, рекомендуется закладывать еще одну наблюдательную скважину в непосредственной близости от центральной, на расстоянии 8—10 м в безнапорных горизонтах и 25—30 м — в напорных. Для определения значения «внутреннего сопротивления» в безнапорных водоносных горизонтах большой мощности в тех случаях, когда расстояния до наблюдательных скважин, приведенные в табл. 20, меньше величины мощности водоносного горизонта, целесообразно иметь наблюдательную скважину, расположенную от центральной на расстоянии, равном мощности горизонта, так как при таком расстоянии несовершенство центральной скважины не сказывается.

При рекомендованных расстояниях между скважинами опытную откачку для определения коэффициента фильтрации можно проводить в напорных водах в течение одних суток, а в безнапорных — в течение двух суток. Однако, если учесть возможную неоднородность пласта, то продолжительность откачки следует несколько увеличить, приняв ее в безнапорных горизонтах 3—4 суток, в напорных 2—3 суток. Для определения коэффициента пьезопроводности (уровнепроводности) продолжительность откачки должна быть несколько увеличена в связи с тем, что в этом случае необходимо иметь данные об изменении уровня во времени. Для получения данных для расчета коэффициента пьезопроводности (уровнепроводности) откачку в напорных горизонтах следует проводить в течение 3—5 суток, а в безнапорных 5—10 суток, при этом откачка может быть закончена раньше, если в течение 1—2 суток не будет происходить изменения уровня в скважинах при постоянном дебите\*.

Приведенная выше продолжительность откачек является ориентировочной. В каждом конкретном случае следует корректировать продолжительность опытных откачек, исходя из целевого назначения откачек и режима движения подземных вод. Хорошим способом анализа является построение во время откачки графика зависимости  $s = f(lgt)$ . Подробно вопросы построения графика будут рассмотрены ниже.

Откачка должна проводиться с постоянным максимальным для данного насоса дебитом. Во время откачки допускается отклонение дебита от среднего не более чем на 10%. Насосное оборудование следует подбирать таким образом, чтобы обеспечивалось понижение в центральной скважине по крайней мере на 3—4 м.

Замеры уровней проводятся во время откачки в первые два часа через 10 мин., в последующие 12 часов — через час и далее до конца откачки — через 2—3 часа.

После окончания откачки обязательно должны быть проведены наблюдения за восстановлением уровня. Замеры уровня проводятся со следующими интервалами: первые 15 мин. через минуту, далее в течение часа — через 5 мин., затем через час.

Опытные откачки с несколькими понижениями уровня следует проводить только в тех случаях, когда целью откачки является установление зависимости дебита скважины от понижения уровня в ней. Кроме того, откачку с двумя понижениями целесообразно

проводить и для определения коэффициента фильтрации безнапорных водоносных горизонтов, приуроченных к трещиноватым породам, для установления характера изменения фильтрационных свойств с глубиной. Однако это имеет смысл только в том случае, когда есть возможность создать большее понижение, равное 40—50% мощности водоносного горизонта, и обеспечить достаточно значительную разницу в величинах понижений.

Откачки для установления зависимости между дебитом и понижением следует проводить на два понижения уровня, а в безнапорных водоносных горизонтах, приуроченных к трещиноватым породам, некоторую часть откачек на три понижения уровня. Этот вывод был сделан на основании анализа данных 50 опытных откачек, проведенных в самых разнообразных гидрогеологических условиях (артезианские бассейны платформенного типа и горноскладчатых областей, водоносные горизонты в отложениях речных долин, в конусах выноса и пролювиальных шлейфах и т. д.) с тремя понижениями уровня, при которых наблюдалась криволинейная зависимость между дебитом и понижением.

Подробные результаты анализа изложены в работе Язвина (1965). Здесь только отметим, что сопоставление результатов расчетов дебитов по данным откачек с двумя и тремя понижениями уровня, при понижениях, в 2—3 раза превышающих понижения при опытных откачках, показало в абсолютном большинстве случаев расхождение не более 10%. Аналогичные результаты получились и при проверочных расчетах, когда по данным двух понижений определялся дебит, соответствующий третьему понижению, и этот дебит сравнивался с фактическим. Такие проверочные расчеты были сделаны для 25 откачек, в которых максимальное понижение в 1,5—2 раза превышало опытное.

\* Рекомендуемая продолжительность относится к собственно откачке, без учета времени на вспомогательные работы.

Расхождение между рассчитанным и фактическим дебитом в семи случаях не превысило 3%, в пяти случаях составило от 3 до 5%, в десяти случаях от 5 до 10%, в двух случаях—10—11% и только в одном случае— 23%. Интересно, что этот единственный случай приходится на мергельно-меловой безнапорный водоносный горизонт, т. е. на безнапорный горизонт в трещиноватых породах, где водопроницаемость с глубиной уменьшается.

Заметим, что использованное в анализе количество опытов (50 и 25) при полученном распределении отклонений показало, что вероятность того, что расхождение в определении дебитов при откачке с двумя понижениями по сравнению с откачкой с тремя понижениями будет составлять менее 10%, равна 0,97—0,9.

Таким образом, приведенные выше цифры убедительно свидетельствуют о том, что проведение откачек на три понижения уровня дает уточнения величин дебита в пределах точности гидрогеологических расчетов. Поэтому для установления зависимости дебита от понижения необходимо и достаточно проводить откачку на два понижения уровня. Одно из понижений должно быть максимально возможным, второе — не менее чем в 2—3 раза меньше максимально возможного и вместе с тем не менее 1 м. В случае, если при увеличении понижения будет наблюдаться увеличение удельного дебита, откачку на меньшем понижении следует повторить, предварительно добившись восстановления статического уровня. При проведении откачек из безнапорных горизонтов в трещиноватых породах, как уже говорилось, некоторое количество откачек следует проводить на три понижения уровня для определения изменения характера трещиноватости с глубиной.

Большое значение при проведении откачек с двумя-тремя понижениями имеет последовательность понижений. Откачку желательно начинать с меньшего понижения. Это связано с тем, что при переходе с большего понижения уровня на меньшее происходит восстановление уровня, вызванное уменьшением дебита. В таких случаях наблюдается временная стабилизация уровня, вызванная уменьшением дебита, что в

некоторых случаях приводит к совершенно неправильным выводам об установившемся режиме движения подземных вод. Однако в целом ряде случаев, особенно если водоносные горизонты приурочены к трещиноватым породам или мелкозернистым пескам, для промывки призабойной зоны и создания естественного фильтра откачку целесообразно начинать с большего понижения. Переход на меньшее понижение в этих случаях должен осуществляться после полного восстановления уровня, пониженного при первом понижении.

Опытно-эксплуатационные откачки из одной скважины или группы скважин следует проводить только в сложных гидрогеологических условиях. В простых гидрогеологических условиях, которые могут быть легко отображены в виде расчетной схемы, проводить опытно-эксплуатационные откачки нецелесообразно. При проектировании опытно-эксплуатационных откачек в сложных гидрохимических условиях следует иметь в виду, что в большинстве случаев, даже при очень близком расположении контура минерализованных или загрязненных вод в плане от водозабора, время передвижения этого контура измеряется годами. Поэтому опытно-эксплуатационные откачки с целью установления опытным путем возможного изменения качества подземных вод следует проводить только при наличии опасности подсоса минерализованных вод в вертикальном разрезе или в случае расположения водозабора в близком (несколько сотен метров) расстоянии от реки, несущей загрязненные воды. В этом случае по направлению от водозабора к реке должен быть пробурен ряд наблюдательных скважин. Опытно-эксплуатационные откачки должны проводиться с одним, максимально возможным, дебитом, близким к проектному, продолжительность их составляет один-два месяца, а иногда и более.

В процессе проведения опытных откачек составляется следующая полевая документация:

- 1) журнал откачки;
- 2) хронологические графики зависимости дебита и понижений уровня в центральной и наблюдательных скважинах от времени —  $Q = f(t)$ ,  $s_o = f(t)$  и  $s_n = f(t)$ ;
- 3) графики зависимости дебита и удельного дебита от понижения:  $Q = f(s)$  и  $q = f(s)$ ;
- 4) графики  $s = f(\ln t)$ .

Хронологические графики следует составлять в таком масштабе, чтобы по ним можно было легко установить режим движения подземных вод. Поэтому целесообразно применять искаженный вертикальный масштаб. Наиболее наглядным является вертикальный масштаб: 1 см на графике—10 см в натуре. При больших абсолютных значениях понижений построение можно начинать от условного нуля.

Кривая дебита. Кривая дебита является важной характеристикой эксплуатационной скважины, так как позволяет определять величину дебита скважины при понижениях, превышающих достигнутые при откачке, или величину понижения, соответствующую проектному дебиту. Кривые дебита позволяют учитывать дополнительные сопротивления, возникающие при движении воды в призабойной зоне и по трубам.

Теоретически кривая дебита для напорных вод при установившемся движении должна иметь вид прямой линии, а для безнапорных — параболы. Удельный дебит — дебит на 1 м понижения уровня — для напорных вод должен быть постоянным, а для безнапорных уменьшаться по закону прямой линии.

В реальных условиях кривые дебита очень часто отличаются от теоретических. Это объясняется и различными сопротивлениями в призабойной зоне и при движении жидкости по трубам и возможными нарушениями линейного закона фильтрации, а в безнапорных горизонтах — и неоднородностью фильтрационных свойств по вертикали. Графически зависимости дебита от понижения, построенные на основании опытных данных, обычно представляют собой кривые, в которых увеличение понижения при росте дебита происходит быстрее, чем это следует из теоретических зависимостей. Наиболее частая на практике связь между дебитом и понижением выражается следующим уравнением:

$$s = aQ + bQ^2 \quad (\text{VIII, 1})$$

где  $a$  и  $b$  — эмпирические коэффициенты, определяемые по опытным данным.

Параметры  $a$  и  $b$  наиболее просто находятся путем построения графика:  $\frac{s}{Q} = f(Q)$ .

Этот график представляет прямую линию, у которой угловой коэффициент (тангенс угла наклона к оси) равен « $b$ », а отрезок, отсекаемый на оси  $\frac{s}{Q}$ , дает значение « $a$ ». После

определения параметров  $a$  и  $b$  по формуле (VIII, 1) рассчитывается понижение при проектном дебите. Если эксплуатация будет происходить при неустановившемся движении, к величине, рассчитанной по этой формуле, необходимо добавить дополнительное понижение во времени. Методы определения дополнительного понижения приведены в работах Биндемана (1963) и Бочевера (1963). В ряде руководств рекомендуется для составления кривой дебита пользоваться степенной зависимостью. Однако, как показали проведенные исследования, в подавляющем большинстве случаев расхождение между прогнозируемыми дебитами при степенной и параболической зависимостях составляет не более 10% (при двух- и трехкратной экстраполяции опытных понижений). Следует отметить, что степенная зависимость, как правило, дает большее значение дебита. Поэтому при оценке запасов подземных вод целесообразнее применять параболическую зависимость, выражаемую уравнением (VIII, 1).

Как уже отмечалось, для построения кривых дебита следует брать понижение уровня на один и тот же момент времени после начала соответствующего понижения. В том случае, если при больших понижениях будет наблюдаться увеличение удельного дебита, что может быть связано с изменениями в призабойной зоне, следует повторить откачку на меньшем понижении.

*Безнапорные воды:*

$$k = \frac{0,73Q \left[ \lg \frac{R_n}{r_0} + 0,217 \xi_0 \right]}{(2H - s_0) s_0} \quad \text{— для центральной скважины, (VIII, 12)}$$

$$k = \frac{0,73Q \left[ \lg \frac{r_1}{r_0} + 0,217 (\xi_0 - \xi_1) \right]}{(2H - s_0 - s_1) (s_0 - s_1)} \quad \text{— для центральной и наблюдательной скважин (VIII, 13)}$$

$$k = \frac{0,73Q \left[ \lg \frac{r_2}{r_1} + 0,217 (\xi_1 - \xi_2) \right]}{(2H - s_1 - s_2) (s_1 - s_2)} \quad \text{— для двух наблюдательных скважин, (VIII, 14)}$$

где  $o_0, o_1, o_2$  — величины фильтрационных сопротивлений, соответственно учитывающие несовершенство центральной, первой и второй наблюдательных скважин по степени вскрытия, а в центральной скважине также влияние конструкции фильтровой части.

Величина  $o_0$  складывается из двух составляющих  $oo'$  и  $oo''$ :  $oo'$  — определяет несовершенство скважины по степени вскрытия, а  $oo''$  — влияние конструкции фильтровой части и других технических причин.  $oo', o_1$  и  $o_2$  находятся по табл. 21 (заимствована из работ Веригина, 1962) в зависимости от отношения длины рабочей части фильтра центральной скважины ( $l$ ) к мощности водоносного горизонта ( $m$ ) и мощности водоносного горизонта к величине  $r$ . При определении  $oo'$  величиной  $r$  следует считать радиус центральной скважины  $r_0$ , при определении  $o_1$  и  $o_2$  — соответственно расстояния от первой и второй наблюдательных скважин до центральной.

Таблица 21

$l/m$	$m/r$									
	0,5	1,0	3	10	30	100	200	500	1000	2000
0,1	0,00391	0,122	2,04	10,4	24,3	42,8	53,8	69,5	79,6	90,9
0,3	0,00297	0,0907	1,29	4,79	9,2	14,5	17,7	21,5	24,9	28,2
0,5	0,00165	0,0494	0,656	2,26	4,21	6,5	7,86	9,64	11,0	12,4
0,7	0,000546	0,0167	0,237	0,879	1,69	2,07	3,24	4,01	4,58	5,19
0,9	0,000048	0,0015	0,0251	0,128	0,3	0,528	0,664	0,846	0,983	1,12

При определении величины  $o$  для безнапорных водоносных горизонтов мощность водоносного горизонта  $H$  уменьшается на половину понижения в центральной скважине. В том случае, если фильтр центральной скважины незатопленный, его длина  $l$  уменьшается на половину длины осушенной части фильтра.

Приведенные в табл. 21 значения  $o$  используются при расположении рабочей части фильтра у кровли или подошвы пласта. При расположении фильтра внутри пласта величины  $o$ , как показано в работе Ф. М. Бочевера (1965), следует уменьшать при  $l/m = 0,3$  на 1,5, при  $l/m = 0,5$  на 0,7.

Величина  $oo$  наиболее точно может быть рассчитана по данным кустовых откачек (см. стр. 130).

Несовершенство наблюдательных скважин, если они расположены на расстояниях, примерно равных или превышающих мощность водоносного горизонта, очень незначительно и его можно не учитывать.

Приведенные выше формулы справедливы для неограниченных пластов. Однако, как показано Н. Н. Веригиным (1962), при рекомендованных расстояниях от центральной до наблюдательной скважины эти формулы обеспечивают достаточную точность при определении коэффициента фильтрации и для полуограниченного пласта. Как уже было указано выше, формулы (VIII, 9) — (VIII, 14) применяются для расчетов коэффициентов фильтрации при  $l/r > 0,1$ . Если отношение длины фильтра к мощности водоносного горизонта меньше 0,1, то для расчета следует пользоваться следующими формулами:

$$k = \frac{0,366Q \lg \frac{1,47l}{r_0}}{ls_0} \quad \text{— при расположении фильтра у кровли и подошвы пласта,} \quad \text{(VIII, 15),}$$

$$k = \frac{0,366Q \lg \frac{0,73l}{r_0}}{ls_0} \quad \text{— при расположении фильтра в средней части пласта.} \quad \text{(VIII, 16).}$$

Для расчета коэффициента фильтрации в безнапорных горизонтах, в случае незатопленного фильтра, длина фильтра по предложению Н. К. Гиринского должна быть уменьшена на половину понижения в скважине. Следует сделать одно важное замечание по расчету коэффициентов фильтрации. Обычно при расчетах коэффициента фильтрации по данным опытных откачек с несколькими понижениями уровня определяется средняя его величина (как среднеарифметическое из всех определений). Это совершенно неверно, так как различные коэффициенты фильтрации при разных понижениях получаются в связи с неодинаковыми значениями сопротивлений при движении воды в призабойной зоне и внутри скважины, а также из-за недоучета проявлений неустановившегося режима фильтрации.

Дело в том, что если переход с одного понижения на другое происходит без восстановления уровня, на величину второго понижения накладываются процессы восстановления или дополнительного понижения, вызванного уменьшением или увеличением дебита. Кроме того, как правило, откачки при разных понижениях имеют различную продолжительность, а для расчета коэффициента фильтрации берется



понижение в конце откачки, что дает несопоставимые результаты. Поэтому для определения расчетного значения коэффициента фильтрации следует проводить сопоставительные расчеты по наблюдательным скважинам и по формулам неустановившейся фильтрации. При проведении одиночных откачек определение следует проводить по первому понижению, при этом, учитывая точность замеров, следует добиваться, чтобы величина этого понижения была не меньше 1 м.

### **Расчет коэффициентов фильтрации, водопроницаемости, пьезопроводности и уровнепроницаемости по формулам неустановившейся фильтрации**

Методы определения коэффициентов фильтрации и пьезопроводности по данным опытных откачек при неустановившемся движении нашли широкое применение в практике гидрогеологических исследований. Эти методы основаны на использовании формулы для определения понижения уровня при работе скважины с постоянным дебитом:

$$s = - \frac{Q}{4\pi km} E_i \left( - \frac{r^2}{4at} \right), \quad (\text{VIII, 17})$$

где  $t$ —время от начала откачки, *сутки*;

$a$  — коэффициент пьезопроводности,  $\text{м}^2/\text{сутки}$ ;

$r$  — расстояние от точки, в которой определяется понижение, до центральной скважины (если понижение определяется в центральной скважине — радиус скважины),  $\text{м}$ ;

$E_1$  — обозначение интегральной экспоненциальной функции, определяемой по таблице.

Как известно, что  $r^2/4at < 0,1$  интегральную экспоненциальную функцию можно заменить логарифмической. При этом формула приобретает следующий вид:

$$s = \frac{Q}{4\pi km} \ln \frac{2,25at}{r^2}. \quad (\text{VIII, 18})$$

Из формулы (VIII, 18) видно, что понижение уровня связано с логарифмом времени прямолинейной зависимостью, выражаемой уравнением

$$s = A + B \lg t. \quad (\text{VIII, 19})$$

Если построить график в координатах  $s=f(\lg t)$ , то получим прямую с угловым коэффициентом  $B$  и с начальной ординатой  $A$  (рис. 25, а).

Коэффициент  $B$  определяется по формуле

$$B = \frac{s_2 - s_1}{\lg t_2 - \lg t_1}, \quad (\text{VIII, 20})$$

где  $s_2$  и  $s_1$ ,  $\lg t_2$  и  $\lg t_1$  — координаты двух любых точек прямой на графике.

Взяв значение  $A$  непосредственно с графика (см. рис. 25, а) и определив  $B$  по формуле (VIII, 20), можно рассчитать коэффициенты водопроводимости и пьезопроводности по следующим формулам:

$$km = \frac{0,183Q}{B}, \quad (\text{VIII, 21})$$

$$\lg a = 2 \lg r - 0,35 + \frac{A}{B}. \quad (\text{VIII, 22})$$

Приведенные выше зависимости применяются для напорных водоносных горизонтов. Однако, если понижение уровня составляет не более 15—20% от первоначальной мощности водоносного горизонта, изложенной выше методикой можно пользоваться и для определения параметров безнапорных горизонтов с достаточной для практики точностью.

Если понижение уровня в безнапорном пласте превышает 15—20% от величины первоначальной мощности, то для определения параметров следует построить график  $s(2H-s)=f(\lg t)$ , который также выражается прямой линией с угловым коэффициентом  $B$  и начальной ординатой  $A$ . Коэффициент  $B$  в данном случае определяется по формуле

$$B = \frac{s_2(2H-s_2) - s_1(2H-s_1)}{\lg t_2 - \lg t_1}. \quad (\text{VIII, 23})$$

Коэффициент урвнепроводности рассчитывается по формуле (VIII, 22), а коэффициент фильтрации по формуле

$$k = \frac{0,366Q}{B}. \quad (\text{VIII, 24})$$

Все приведенные выше формулы служат для определения параметров по совершенным скважинам. При обработке результатов опытных работ из несовершенных скважин методика остается прежней, не меняются также формулы (VIII, 21) и (VIII, 24) для определения коэффициентов водопроводимости и фильтрации. Несколько изменяется только формула (VIII, 22) для расчета коэффициента пьезопроводности и урвнепроводности, которая принимает следующий вид:

$$\lg a = 2 \lg r - 0,35 + \frac{A}{B} - 0,434\epsilon. \quad (\text{VIII, 25})$$

На графиках  $s=f(\lg t)$  и  $s(2H-s)=f(\lg t)$  обычно выделяются три участка (рис. 25 б). На первоначальном участке точки графика не ложатся на прямую линию. Этот период соответствует значению  $r^2/4at < 0,1$ , когда логарифмическая зависимость между понижением уровня и временем не действует и когда на величину понижения уровня значительное влияние оказывают процессы, протекающие в призабойной зоне.

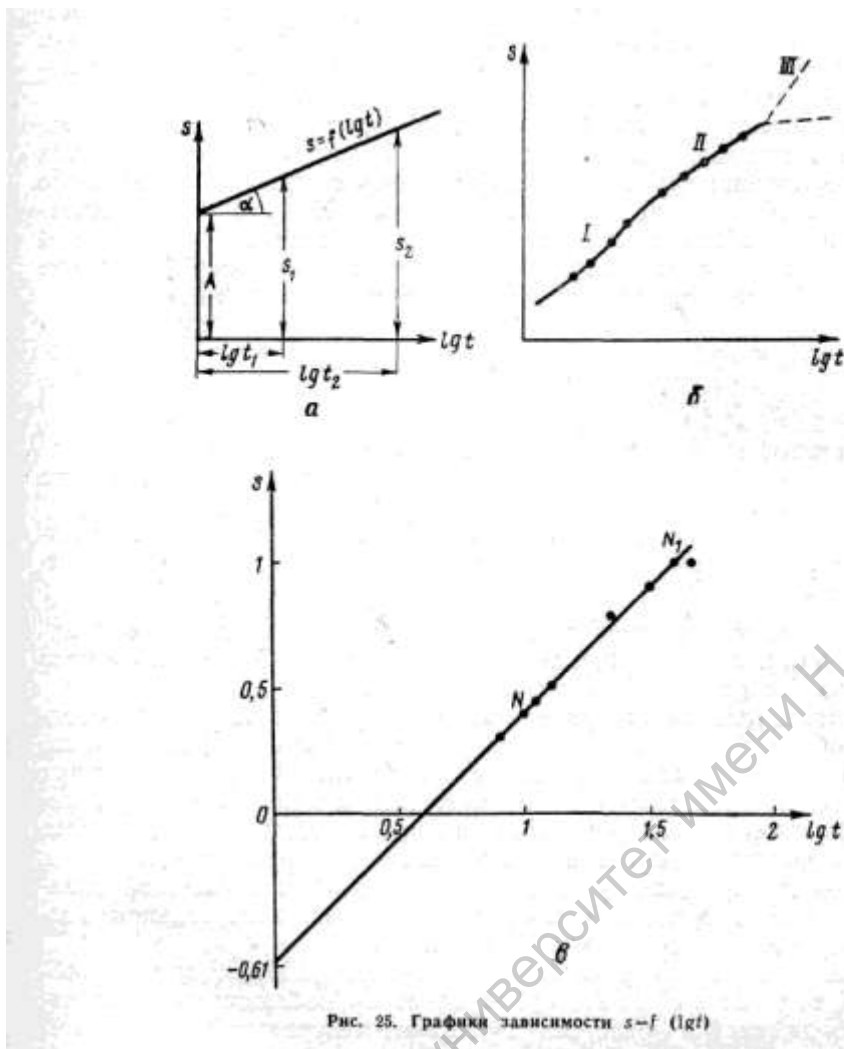


Рис. 25. Графики зависимости  $s=f(lgt)$

На участке III (см. рис. 25, б) происходит отклонение графика от прямой линии, что может быть объяснено влиянием границ пласта или его внутренней фильтрационной неоднородностью. Поэтому для определения параметров следует использовать только среднюю прямолинейную часть графика II, причем при разбросе точек нужно проводить усредненную прямую.

При построении графиков  $s = f(lgt)$ ,  $s(2H-s)=f(lgt)$  понижение уровня и время принимаются в наиболее удобных размерностях (понижение — в метрах, время — в часах, сутках, минутах); необходимо только помнить, что размерность коэффициента пьезопроводности зависит от размерностей понижения и времени, выбранных при построении графика. Так, если понижение откладывалось в метрах, а время измерялось в сутках, размерность коэффициента пьезопроводности будет в  $m^2/сутки$ , а если  $s$  в м, а  $t$  в мин, то  $a$  соответственно будет в  $m^2/мин$ .

Размерность величины « $kt$ », определяемой по формуле (VIII, 21) (при размерности понижения в метрах), зависит от размерности дебита. Так, если дебит измеряется в  $m^3/сутки$ , то размерность коэффициента водопродности будет в  $m^2/сутки$ , если дебит — в  $m^3/час$ , то коэффициент водопродности будет в  $m^2/час$ .

Если определения параметров проводились по центральной скважине, то в формулы (VIII, 22) и (VIII, 25) вместо  $r$  подставляется радиус скважины  $r_0$ , а если по наблюдательным, то  $r$  — расстояние от центральной скважины до наблюдательной.

Описанная методика применима и при обработке результатов наблюдения за восстановлением уровня; тогда вместо понижений берутся величины повышения уровня, отсчитываемые от уровня, замеренного перед остановкой скважины. В формулу (VIII, 21) при этом подставляется значение дебита, с которым проводилась откачка. При определении параметров по данным наблюдений за восстановлением уровня необходимо,

чтобы выдерживались следующие соотношения:

$$\begin{aligned} t_1 &\leq 1,1t_0, \\ t_2 &\leq 1,1t_1, \end{aligned} \quad (\text{VIII}, 26)$$

где  $t_0$  — время от начала откачки до остановки скважины;

$t_1$  — момент времени, который может быть использован в качестве начальной точки при построении графика  $S_0=f(lgt)$ ;

$t_2$  — момент времени, который может быть принят в качестве конечной точки этого графика ( $t_1$  и  $t_2$  отсчитываются от начала откачки).

Эти соотношения следует выдерживать, так как в противном случае может быть получена существенная ошибка из-за не учета процессов развития понижения после остановки скважины.

Как показывает опыт, определение коэффициента пьезопроводности при обработке данных откачек по центральной скважине часто дает неточные результаты из-за не учета сопротивлений, возникающих в призабойной зоне. Поэтому по возможности предпочтительнее определять коэффициент пьезопроводности по наблюдательным скважинам.

*Пример расчета.* Определить коэффициенты водопродности и пьезопроводности по данным опытной откачки из совершенной скважины, вскрывшей напорные воды в известняках каменноугольного возраста в Московском артезианском бассейне.

Откачка проводилась с постоянным дебитом  $2660 \text{ м}^3/\text{сутки}$ . Наблюдения за изменением уровня проводились по наблюдательной скважине, расположенной на расстоянии  $300 \text{ м}$  от центральной. Результаты наблюдений приведены в табл. 22.

Таблица 22

Время после начала откачки, час	$\lg t$	$s, \text{ м}$
8,00	0,90	0,30
11,00	1,04	0,45
13,00	1,11	0,50
21,00	1,32	0,80
31,00	1,49	0,90
27,00	1,67	1,05

Строим график  $s — f(lgt)$ , выражая время в часах и понижение в метрах (рис. 25, в). С графика снимаем значение  $A$ , равное  $—0,61$ .

Определяем  $B$  по формуле (VIII, 20) по понижениям и времени для двух точек графика ( $N_1$  и  $N$ ):

$$B = \frac{1,0 - 0,4}{1,58 - 1,0} \approx 1,0.$$

По формулам (VIII, 21) и (VIII, 22) определяем коэффициенты водопродности и пьезопроводности:

$$km = \frac{1,83 \cdot 2660}{1,0} = 485 \text{ м}^2/\text{сутки};$$

$$\lg a = 2\lg 300 - 0,35 - 0,61 = 4,0;$$

$$a = 10^4 \text{ м}^2/\text{час} = 2,4 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{сутки}.$$

При кратковременных откачках при определении параметров по данным наблюдений за изменением уровня в удаленных скважинах, когда величина  $r^2/4at > 0,1$ , для расчета параметров следует пользоваться формулой (VIII, 17).

Если известно два значения понижения уровня ( $s_1$  и  $s_2$ ) на два соответствующих момента времени ( $t_1$  и  $t_2$ ) при откачке, проводимой с постоянным дебитом, то из формулы (VIII, 17) можно получить следующее выражение:

$$\frac{s_2}{s_1} = \frac{E_1\left(-\frac{r^2}{4at_2}\right)}{E_1\left(-\frac{r^2}{4at_1}\right)}. \quad (\text{VIII, 27})$$

Определение  $a$  производится подбором. Для этого нужно задаться несколькими значениями  $a$  и определить по формуле (VIII, 27) величину  $\frac{s_2}{s_1}$  при заданных  $a$ . После этого строится график зависимости  $\frac{s_2}{s_1} = f(a)$  и по графику определяется то значение  $a$ , которое соответствует отношению  $\frac{s_2}{s_1}$ , полученному по данным откачки.

Коэффициент водопроницаемости при найденном значении  $a$  определяется по формуле

$$km = -\frac{Q_1}{4\pi s_1} E_1\left(-\frac{r^2}{4at_1}\right). \quad (\text{VIII, 28})$$

Для удобства расчетов В. М. Шестаков предложил выбирать значения понижений уровней  $s_1$  и  $s_2$  на моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ , отличающиеся друг от друга в  $\alpha$  раз ( $t_2 = \alpha t_1$ ), где  $\alpha = 1,5; 2,0; 2,5; 3,0$ .

Для таких соотношений В. М. Шестаковым (1962) составлен график зависимости величины  $\frac{s_2}{s_1}$  от величины  $\lambda$ , где

$$\lambda = \frac{r^2}{4at_1}. \quad (\text{VIII, 29})$$

Зная величину  $\frac{s_2}{s_1}$ , по графикам (рис. 26) определяем величину  $\lambda$  и по формуле (VIII, 30) рассчитываем значение коэффициента пьезопроводности:

$$a = \frac{r^2}{4\lambda t_1}. \quad (\text{VIII, 30})$$

Коэффициент водопроницаемости определяется по формуле (VIII, 28).

Приведенные выше формулы касались обработки данных опытных работ для случаев, если откачка проводится из одной скважины. Однако в сложных гидрогеологических условиях для этого должны быть использованы результаты длительных групповых откачек.

При групповых откачках понижения уровня даже в точках, удаленных от опытных скважин на большие расстояния, достигают значительных величин. Это позволяет более надежно, чем при одиночных откачках, определить расчетные параметры водоносного горизонта для значительной площади его распределения.

В случаях неоднородных пластов, фильтрационные свойства которых не закономерно меняются по площади, при обработке результатов групповой откачки определяют расчетные параметры по всем наблюдательным скважинам, расположенным в разных точках пласта, и находят их средние значения для исследуемой зоны.

Для определения параметров по данным групповой откачки используется тот же графоаналитический метод, но для учета изменения дебита строится график  $s = f(\lg t_{\text{пр}})$ , где  $t_{\text{пр}}$  — приведенное время работы водозабора, учитывающее различные дебиты скважин и время их работы;  $\lg t_{\text{пр}}$  определяется по формуле

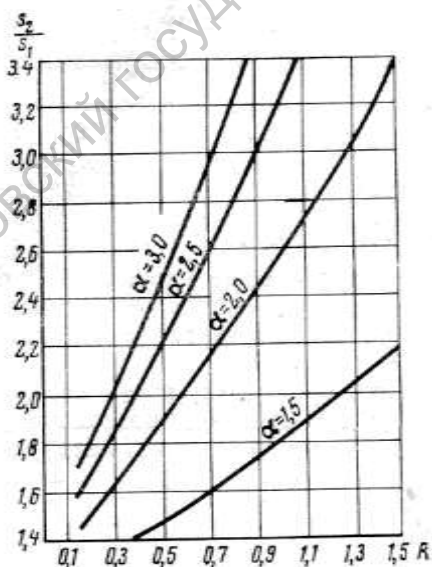


Рис. 26. График зависимости отношения понижений уровня от коэффициента пьезопроводности.

$$\lg t_{np} = \lg t + \alpha_1 \lg(t - t_1) + \alpha_2 \lg(t - t_2) + \alpha_n \lg(t - t_n), \quad (\text{VIII, 31})$$

где  $t$  — время от начала откачки до момента, на который определяется понижение;

$t_1, t_2, \dots, t_n$  — время начала работы скважин с номерами 1, 2, 3, ...,  $n$ .

$$\alpha_1 = \frac{Q_1}{Q_0}, \quad \alpha_2 = \frac{Q_2}{Q_0}, \quad \alpha_n = \frac{Q_n}{Q_0}, \quad (\text{VIII, 32})$$

где  $Q_0$  — дебит скважины, для которой определяется приведенное время,

а  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  — дебиты скважин с номерами соответственно, 1, 2, 3, ...,  $n$ .

Для определения параметров необходимо выбрать несколько расчетных периодов  $t$  и для каждого из них по формуле (VIII, 31) определить  $\lg t_{np}$ . Далее следует построить график зависимости  $s = f(\lg t_{np})$ , где  $s$  — понижение уровня в водозаборной или наблюдательной скважине на моменты времени, для которых определяется  $\lg t_{np}$ . По графику, так же как и при откачке из одиночной скважины, определяются коэффициенты  $A$  и  $B$ . Гидрогеологические параметры рассчитываются по формулам:

$$km = \frac{0,183Q_0}{B}, \quad (\text{VIII, 33})$$

$$\lg a = \frac{2 \lg r_1 + 2\alpha_1 \lg r_2 + \dots + 2\alpha_{n-1} \lg r_n - (1 + \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_{n-1}) 0,35 + \frac{A}{B}}{1 + \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_{n-1}}. \quad (\text{VIII, 34})$$

где  $r_1, r_2, \dots, r_n$  — расстояние от скважин с номерами 1, 2, ...,  $n$  до точки, в которой замерялось понижение.

Методика определения параметров по данным групповой откачки может быть использована и для случая, когда работает одна скважина, но дебит ее по техническим причинам не остается постоянным. В этом случае изменение дебита схематично нужно представить в виде ступенчатого графика (рис. 27):

Для определения параметров выбирают несколько расчетных периодов  $t$  и для каждого из них по формуле (VIII, 31) находят  $\lg t_{np}$ . Коэффициенты  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n-1}$ , входящие в формулу, определяются по следующим зависимостям:

$$\alpha_1 = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1}, \quad \alpha_2 = \frac{Q_3 - Q_2}{Q_1}, \quad \alpha_{n-1} = \frac{Q_n - Q_{n-1}}{Q_1}, \quad (\text{VIII, 35})$$

где  $Q_1$  — первоначальный дебит скважины;  
 $Q_2, Q_3, \dots, Q_n$  — дебиты скважин соответственно в моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_n$  (см. рис. 27).

После этого строится график зависимости  $s = f(\lg t_n)$  и определяются параметры  $A$  и  $B$ .

Коэффициент водопроводимости рассчитывается по формуле (VIII, 33), а коэффициент пьезопроводности — по формуле

$$\lg a = \frac{2(1 + \alpha_1 + \dots + \alpha_{n-1}) \lg r - (1 + \alpha_1 + \dots + \alpha_{n-1}) 0,35 + \frac{A}{B}}{1 + \alpha_1 + \dots + \alpha_{n-1}}. \quad (\text{VIII, 36})$$

Расчетные периоды при определении параметров при групповой откачке и при откачке с изменяющимся дебитом должны быть больше времени пуска последней скважины (при групповой откачке) или последнего изменения дебита (при одиночной откачке с переменным дебитом), т. е. при  $t > t_n$ .

Методика определения параметров при групповых откачках и откачках с изменяющимся дебитом с учетом всего времени откачек изложена в работе Ф. М. Бочевера, И. В. Гармонова, А. В. Лебедева В М Шестакова (1965).

Наиболее точно гидрогеологические параметры можно определить, анализируя опыт

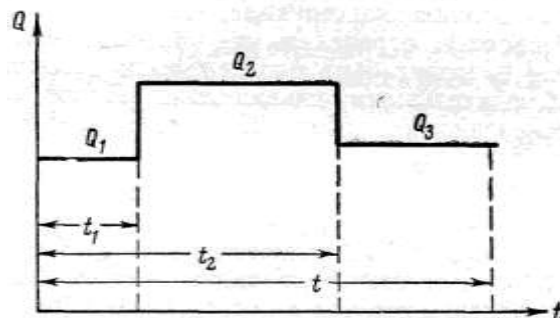


Рис. 27. График изменения расхода водозабора во времени

работы действующих водозаборов. Действительно, в этом случае мы имеем дело не с относительно непродолжительным опытом, относящимся к отдельным «точкам» водоносного пласта, как в случае опытных откачек из отдельных скважин, а с мощной откачкой из системы взаимодействующих скважин, продолжающейся годами. При этом влияние отдельных факторов, формирующих эксплуатационные запасы и трудно учитываемых раздельно (питание водоносного горизонта, водопроницаемость и упругие свойства пласта, перетекание воды из смежных водоносных горизонтов и т. д.), рассматриваются в их совокупности.

Определение параметров может быть выполнено и по данным многолетней эксплуатации водозабора (см. гл. IX).

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННОГО РАДИУСА ВЛИЯНИЯ

Величина приведенного радиуса влияния ( $R_{np}$ ) определяется различными способами в зависимости от режима движения подземных вод. Если режим движения неустановившийся, то приведенный радиус влияния определяется по формуле

$$R_{np} = 1,5 \sqrt{at} . \quad (\text{VIII}, 37)$$

Если же при проведении опытных откачек произошла стабилизация уровня, то приведенный радиус влияния можно определить по данным откачки по формуле Дюпюи:

$$\lg R_{np} = \frac{s_1 \lg r_2 - s_2 \lg r_1}{s_1 - s_2} , \quad (\text{VIII}, 38)$$

где  $s_1$  и  $s_2$  — понижение в первой и второй наблюдательных скважинах;  $r_1$  и  $r_2$  — расстояние этих скважин от центральной.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО ФИЛЬТРАЦИОННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Как уже отмечалось, величина фильтрационного сопротивления, учитывающая несовершенство центральной скважины (оо), складывается из двух составляющих, определяющих несовершенство по степени вскрытия водоносного пласта и влияние конструкции фильтровой части скважины. Величина, характеризующая несовершенство по степени вскрытия, определяется по табл. 21. Величину оо, определяющую влияние конструкции, Ф. М. Бочеве и В. С. Алексеев (1965) предложили определять как разность между величинами оо и оо". Величина оо может быть определена по данным кустовой откачки с двумя наблюдательными скважинами. После преобразования выражения, приведенного в работе Бочевера и Алексеева (1965), можно для расчета получить простую формулу:

$$\xi_0 = 4,6 \left( \frac{s_0 - s_1}{s_1 - s_2} \lg \frac{r_2}{r_1} - \lg \frac{r_1}{r_0} \right) . \quad (\text{VIII}, 39)$$

При большом количестве наблюдательных скважин Ф. М. Бочеве и В. С. Алексеев рекомендуют использовать графо-аналитический метод, заключающийся в построении и обработке графика

$$\Delta s = s_{i+1} - s_i = f \left( \lg \frac{r_{i+1}}{r_i} \right) .$$

Для построения графика берутся разности понижений по всем парам скважин, включая центральную. Графики, построенные в координатах  $\Delta s - \lg \frac{r_{i+1}}{r_i}$ , представляют прямые линии. При этом прямые, построенные по наблюдательным скважинам, проходят через начало координат. Прямые, построенные по центральной и наблюдательной скважине, отсекают на оси ординат отрезок.

Если определить для полученных прямых угловой коэффициент  $B_1$  и начальную ординату  $A_1$ , можно рассчитать величины  $km$  и  $\xi_0$  по формулам:

$$km = \frac{0,366Q}{B_1}, \quad (\text{VIII, 40})$$

$$\xi_0 = \frac{4,6A_1}{B_1}. \quad (\text{VIII, 41})$$

Угловой коэффициент  $B_1$  определяется по координатам двух любых точек графика по формуле

$$B_1 = \frac{(s_{i+1} - s_i) - (s_l - s_{l-1})}{\lg \frac{r_{i+1}}{r_i} - \lg \frac{r_l}{r_{l-1}}}. \quad (\text{VIII, 42})$$

Следует иметь в виду, что изложенная выше методика определения показателя несовершенства  $\xi_0$  может применяться только в достаточно однородных пластах.

## ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ

### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Важнейшими мероприятиями, предупреждающими загрязнение вод в районе водозаборов, является создание вокруг них зон санитарной охраны.

В соответствии с Инструкцией по установлению зон санитарной охраны хозяйственно-питьевых водопроводов с подземными источниками водоснабжения, утвержденной Всесоюзной государственной санитарной инспекцией СССР (ВГСА) в 1956 г., предусматривается Создание двух поясов санитарной охраны водозаборов: первого пояса — зоны строгого режима, второго пояса — зоны ограничений.

Зона строгого режима включает участок вокруг водозабора радиусом не менее 30 м при эксплуатации артезианских вод и не менее 50 м — при эксплуатации грунтовых вод. Это зона отчуждается, ограждается и обеспечивается охраной.

Зона ограничений, или собственно зона санитарной охраны, охватывает территорию, использование которой ограничивается в целях предохранения эксплуатируемого водоносного горизонта от загрязнения.

Второй пояс санитарной охраны, его размеры и конфигурация в плане определяются прежде всего гидрогеологическими условиями района водозабора, а также типом самого водозабора. На крупных водозаборах постоянного централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, в условиях возможного химического загрязнения подземных вод разного рода соединениями тяжелых металлов (арсенидов, цианидов) и органических веществ (пекаль, фенолы, нафтеновые кислоты и др.), которые могут оставаться в подземных водах неопределенно долгий срок, размеры второго пояса санитарной охраны должны быть такими, чтобы частицы загрязненной жидкости, попавшие в эксплуатируемый водоносный горизонт за границами этого пояса, никогда не могли достигнуть района водозабора.

Для выполнения этого требования граница второго пояса санитарной охраны должна проходить по так называемой нейтральной линии тока, ограничивающей в фильтрационном поясе данного водозабора область питания (или «область захвата») этого водозабора.

На водозаборах, рассчитанных на ограниченный срок эксплуатации, равный, например, амортизационному сроку работы водозабора в условиях возможного химического загрязнения, которое может оставаться в растворе неопределенно долгий срок, зона санитарной охраны должна быть такой, чтобы время движения загрязненной воды от ее границы до водозабора было заведомо больше проектируемого срока работы водозабора.

Аналогичное требование предъявляется к зонам санитарной охраны водозаборов любого назначения и масштаба при угрозе бактериального загрязнения. В данном случае граница зоны должна проходить на таком расстоянии от водозабора, чтобы время



движения частицы загрязненной жидкости от этой границы до водозабора было больше срока выживания вредных бактерий в условиях подземного потока.

При выделении зон санитарной охраны необходимо определить характер фильтрационного поля водозабора, т. е. построить гидродинамическую сетку фильтрационного течения. Характер фильтрационного поля определяется гидрогеологическими условиями в районе водозабора, а также видом и производительностью самого водозабора (число, взаиморасположение и дебит водозаборных скважин). Под гидрогеологическими условиями в этом случае понимаются граничные условия эксплуатируемого горизонта (условия питания и дренирования, а также условия связи с другими водоносными горизонтами и поверхностными зонами), его водопроницаемость, мощность и активная пористость, изменения этих параметров в плане и по разрезу.

Граничные условия водоносных пластов определяют формирование фильтрационного поля водозабора и траектории линий тока в нем. Основные типы граничных условий рассмотрены в главе II.

Разнообразие граничных условий, а также невыдержанность гидрогеологических параметров по площади весьма усложняют задачу построения гидродинамической сетки фильтрационного течения. Большие затруднения возникают также в связи с неразработанностью методов построения гидродинамической сетки движения для сложных граничных условий. Поэтому для нахождения границ искомой зоны санитарной охраны в большинстве случаев приходится прибегать к известной схематизации природной обстановки.

Наибольшее приближение к реальной природной обстановке дает метод моделирования, позволяющий получить близкие к реально возможным линии тока в фильтрационном поле данного водозабора, если, конечно, гидрогеологические условия в районе водозабора хорошо известны и могут быть достаточно верно замоделированы.

Несколько большее искажение дает графо-аналитический метод, заключающийся в наложении фильтрационного поля, созданного работой водозабора, на естественный поток, заданный картой изогипс (или изопьез). Понижения уровня, вызванные водозабором, определяются аналитическими расчетами по соответствующим формулам. При этом обычно принимается допущение, что водопроницаемость и мощность водоносного горизонта не изменяются по площади.

Границы второго пояса санитарной охраны по гидродинамической сетке устанавливаются или непосредственно по нейтральной линии тока (в случае, если поступление загрязнений в районе водозабора должно быть полностью исключено), или в зависимости от заданного допустимого времени продвижения загрязненных растворов к водозабору, одинакового по всем линиям тока. В последнем случае на каждой линии тока, суммируя время продвижения частиц жидкости вдоль отрезков линии тока, между соседними гидроизогипсами приближенно находится точка, время движения от которой до водозабора по данной линии тока будет равно заданному. Линия, соединяющая все полученные таким образом точки на различных линиях тока, и будет искомой границей зоны.

Подробно графо-аналитический метод выделения зон санитарной охраны рассматривается в работах В. И. Владимирского (1962 г., 1963 г.).

Методы моделирования на аналоговых машинах и графо-аналитический являются зачастую весьма трудоемкими и сложными, особенно если зона санитарной охраны рассчитывается на определенный срок. Поэтому они должны лишь применяться или для сложных гидрогеологических условий (метод моделирования), приведение которых к простейшим схемам может дать большие ошибки, или при водозаборе, состоящем из разно дебитных и хаотично расположенных скважин (методы моделирования и графо-аналитический). Для сравнительно простых гидрогеологических условий и некоторых видов водозаборов разработаны более простые и удобные гидродинамические методы расчета зон санитарной охраны, позволяющие быстро и с достаточной обоснованностью установить положение искомой границы зоны (Минкин, 1966).

Геологические организации, проводящие детальную разведку подземных вод и представляющие разведанные запасы на утверждение в ГКЗ, должны в соответствии с инструкцией ГКЗ (1962) представить рекомендации по установлению зон санитарной охраны применительно к схеме расчетного водозабора с тем, чтобы органы санитарной службы, обследовав выделенную зону ограничений, могли обоснованно судить о том, удовлетворяет ли она предъявляемым к ней требованиям. При этом, как правило, специальных исследований проводить не требуется. Для выделения зон санитарной охраны в этих условиях достаточно использовать материалы проводившихся ранее гидрогеологических съемок и материалы разведочных работ.

Если в процессе разведочных работ будет обнаружен очаг загрязнения подземных вод или будут выявлены участки распространения минерализованных вод и не удастся перенести разведываемый водозабор на другое, безопасное с точки зрения сохранения качества отбираемой воды место, то чаще всего требуется проведение дополнительных специальных исследований по уточнению границ распространения минерализованных вод, а также по выявлению характера и масштабов очага загрязнения, условий его образования и распространения. Эти сведения необходимы для такого размещения проектируемого водозабора, чтобы около него можно было организовать зону санитарной охраны, удовлетворяющую предъявляемым к ней требованиям.

Таким образом, во всех случаях, при наличии очага загрязнения в подземных водах, в районе проектируемого водозабора и при его отсутствии — около водозабора требуется выделить зону санитарной охраны. Все необходимые для этого расчеты и выделение зоны санитарной охраны, а также результаты проведенных специальных исследований по изучению масштаба и характера источников и очагов загрязнения подземных вод, если они будут обнаружены, приводятся в отдельном разделе представляемого отчета по детальной разведке подземных вод. К этому разделу прилагается схема разведанного водозабора с границами рассчитанной зоны санитарной охраны с участками распространения минерализованных вод или с контурами обнаруженных очагов загрязнения подземных вод и возможных источников такого загрязнения, а также прилагаются разрезы, графики и таблицы, иллюстрирующие состав загрязненных вод, изменения этого состава в период наблюдений и распределение загрязнения в плане и по глубине.

Выделение зон санитарной охраны будет обоснованным, а сама зона будет отвечать своему назначению только в том случае, если при проектировании зоны будут достаточно хорошо известны гидрогеологические условия территории, в пределах которой эта зона будет установлена. Прежде всего должны быть выяснены условия защищенности намечаемого к эксплуатации водоносного горизонта от загрязнения. Чтобы судить о степени защищенности водоносного горизонта от загрязнения, нужно ясно представить характер возможного загрязнения, его источники и возможные пути проникновения к подземным водам.

### **ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Все виды загрязнения подземных вод по их проявлению, последствиям и мерам борьбы можно разделить на четыре неравноценные группы: бактериальное, химическое, механическое и радиоактивное.

Бактериальное загрязнение может вызвать и многократно уже вызывало разного рода эпидемические заболевания. Проникновение и распространение бактериального загрязнения лимитируется очищающими свойствами почв и горных пород, через которые фильтруются загрязненные растворы. Масштабы загрязнения зависят от интенсивности его поступления и от выживания бактерий в зоне аэрации и в подземных водах. Известно, что все анаэробные бактерии, к которым относится и большинство патогенных бактерий, погибают в аэрируемой среде, если они будут находиться в ней определенное непродолжительное время.

Опыты показывают, что слой хорошо аэрируемого мелкозернистого песка мощностью 3 м полностью очищает загрязненные воды от бактерий — они погибают или сорбируются

породой. В последнем случае их жизнедеятельность подавляется. Если живые патогенные бактерии тем или иным путем попадают к подземным водным бактериям, то они могут находиться в них довольно долгое время, двигаясь с грунтовым потоком. Однако до настоящего времени нет достаточно убедительных данных о времени выживания бактерий в подземных водах. Следует отметить, что получение таких данных весьма затруднительно, так как в подземных водах различного состава и температуры время это будет различным. По одним опытам оно равно одному месяцу, по другим — достигает двух лет и более.

Наиболее часто встречаются случаи химического загрязнения подземных вод. Это загрязнение является в большинстве случаев самым серьезным и трудно устранимым.

Химическое загрязнение может быть органическим и неорганическим. При этом как первое, так и второе может быть токсичным и нетоксичным.

Токсичное химическое загрязнение может вызвать отравление населения, пользующегося подземными водами, разного рода соединениями тяжелых металлов, арсенидов, цианидов и т. д., содержащимися в сточных водах.

Нетоксичное химическое загрязнение выражается в повышении содержания отдельных уже имеющихся в подземных водах компонентов или в появлении новых соединений. Это приводит к такому ухудшению органолептических свойств или состава подземных вод, что дальнейшее их употребление для целей питьевого водоснабжения становится невозможным или существенно ухудшает условия использования подземных вод для хозяйственно-питьевых целей (увеличение жесткости, содержание железа и т. д.).

Химическое загрязнение, если оно не сорбируется водоносным пластом и не вступает с ним во взаимодействие, может оставаться в подземных водах неопределенно долгий срок.

Механическое загрязнение встречается в подземных водах весьма редко. Если водоносный пласт представлен песками, то механические примеси отфильтровываются уже на первых метрах движения загрязненных вод по водоносному пласту. В трещиноватых породах они распространяются несколько дольше, хотя и здесь быстро исчезают из раствора. И только в сильно закарстованных массивах механическое загрязнение может распространяться на большие расстояния. Следует учитывать, что наличие механического загрязнения является показателем возможного общего (химического и бактериального) загрязнения подземных вод.

Радиоактивное загрязнение связано с работой атомных установок, а также с районами разработки урановых и других месторождений, где водоотлив, отвалы или хвостохранилища могут стать источниками радиоактивного загрязнения. Значительная часть радиоактивных загрязнений вследствие высокой сорбируемости почти не распространяется по потоку, но некоторые из них находятся в растворе и перемещаются с ним весьма продолжительное время.

## **ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ПУТИ ЕГО ПРОНИКНОВЕНИЯ К ПОДЗЕМНЫМ ВОДАМ**

Загрязняющие вещества попадают к подземным водам, как правило, в виде водных растворов. Поэтому водоносные горизонты, перекрытые водоупорными породами, естественно, лучше защищены от проникновения к ним загрязненных растворов.

Источниками загрязнения грунтовых вод являются:

1) разного рода участки скопления бытовых и промышленных сточных вод (пруды-отстойники, пруды-накопители, шламовые пруды, выгребные ямы, хвостохранилища, поля фильтрации, болота, озера и др.), из которых загрязненные растворы попадают в грунтовые воды, фильтруясь через стенки и дно хранилищ;

2) разного рода участки скопления на поверхности твердых отходов, особенно отходов химических производств (загрязненные территории промышленных предприятий, свалки, солеотвалы и т. д.), где происходит загрязнение выпадающих атмосферных осадков и последующая их фильтрация через зону аэрации на местах скопления отходов или в понижениях рельефа, куда стекают загрязненные поверхностные воды;

3) дефектная канализационная сеть, отводящая сточные воды (разрушены или протекают трубы, отсутствует или разрушен водоупорный экран в дне и стенках отводящих канав). Сточные воды фильтруются через зону аэрации;

4) участки складирования и хранения нефтепродуктов, а также сырья и готовой продукции химических производств, где происходит загрязнение выпадающих атмосферных осадков и последующая их фильтрация или фильтрация самих нефтепродуктов или других жидких веществ из мест хранилищ непосредственно к грунтовым водам;

5) участки самоизлива на дневную поверхность минерализованных вод из глубоких скважин, где происходит фильтрация этих вод к грунтовым;

6) земельные участки, на которых широко применяются удобрения и ядохимикаты, а также земельные участки орошения сточными водами;

7) сточные воды, сбрасываемые в поглощающие скважины;

8) нижележащие водоносные горизонты, содержащие минерализованные воды. Последние являются источником загрязнения только в том случае, если они соединяются с горизонтом грунтовых вод через затрубное пространство плохо оборудованных и не затампированных разведочных скважин или через корродированные (или оборванные) трубы этих скважин, а пьезометрический их уровень выше, чем уровень грунтовых вод.

Значительно меньше источников, вызывающих загрязнение артезианских водоносных горизонтов. К ним относятся уже перечисленные (пункты 7 и 8) источники, а также загрязненные грунтовые воды, если водоупорная кровля артезианских горизонтов нарушена горными выработками или если в ней имеются «гидрогеологические окна».

При эксплуатации водоносных горизонтов к названным возможным источникам загрязнения прибавляются реки и водоемы, которые гидравлически тесно связаны с эксплуатируемым водоносным горизонтом и содержат загрязненные воды.

Следует отметить еще один источник загрязнения, который может возникнуть в районе некоторых рудных месторождений, разрабатываемых с водопонижением. При подъеме уровня подземных вод, вызванном разного рода переборами в работе водопонижительных систем, может происходить загрязнение подземных вод в результате растворения легкорастворимых соединений, образовавшихся в ранее осушенной зоне.

Загрязненные растворы попадают в грунтовые воды разными путями. Наиболее частый случай — инфильтрация через зону аэрации или непосредственная фильтрация от источника загрязнения.

Часто путями проникновения загрязненных растворов к подземным водам является затрубное пространство плохо оборудованных эксплуатационных и разведочных скважин, расположенных вблизи возможных источников загрязнения или утепленных на устье материалом, содержащим загрязняющие вещества (шлак, навоз и т. д.).

### **ЗАЩИЩЕННОСТЬ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ КО ВТОРОМУ ПОЯСУ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ВОДОЗАБОРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

К факторам, определяющим защищенность водоносных горизонтов от загрязнения, относятся литологический состав, строение и мощность зоны аэрации, характер водоносного пласта и условия его связи с поверхностными водами, а также мощность и выдержанность глинистых толщ, слагающих кровлю и подошву рассматриваемых водоносных горизонтов. От литологического состава, строения и мощности зоны аэрации зависит защищенность грунтовых вод главным образом от бактериального загрязнения. Если зона аэрации сложена глинами, суглинками или глинистыми песками мощностью свыше 3 м и не создается сплошного фильтрационного потока сверху, т. е. если эта зона аэрируется, то можно не опасаться бактериального загрязнения грунтовых вод. Если зона аэрации сложена трещиноватыми скальными и полускальными породами и особенно если

эти породы закарстованы, поступление загрязнения к грунтовым водам существенно облегчается.

Химическое загрязнение может попадать к грунтовым водам и при отсутствии сплошного фильтрационного потока через зону аэрации. Глинистый состав зоны аэрации не является при этом гарантированным препятствием загрязнению.

Литологический состав и строение водоносного пласта определяют масштабы распространения загрязнений после того, как они тем или иным путем попадут в водоносный горизонт. Чем больше коэффициент фильтрации пласта и чем меньше его активная пористость, тем дальше при прочих равных условиях распространится загрязнение по пласту.

Наличие карстовых каналов может привести к тому, что даже бактериальное загрязнение, время нахождения которого в подземных водах является достаточно ограниченным (зависит от срока выживаемости бактерий), может распространиться на много километров от источника загрязнения.

Условия связи водоносного горизонта с поверхностными водоемами и водотоками характеризуют возможность попадания к подземным водам загрязненных поверхностных вод. Определяющими при этом являются: глубина вреза речных долин и водоемов по отношению к водоносным горизонтам, экранированность их дна и бортов, мощность аллювиальных отложений, их выдержанность и механический состав, наличие или отсутствие выдержанных глинистых слоев, отделяющих водоносный горизонт от поверхностных вод.

Характер и выдержанность глинистых толщ, разделяющих водоносные горизонты, определяют условия перетекания подземных вод из одного горизонта в другой и, в частности, перетекание загрязненных грунтовых вод в нижележащие водоносные горизонты. Можно с достаточной уверенностью считать, что перетекание загрязненных вод возможно лишь при наличии «гидрогеологических окон» — разрывов или другого рода перерывов в разделяющей горизонт глинистой толще.

Наиболее защищенными являются глубокие артезианские и межпластовые воды, изолированные сверху непроницаемой кровлей и имеющие области питания на достаточно большом удалении от района водозабора.

В менее благоприятных условиях находятся артезианские водоносные горизонты, соединяющиеся с грунтовыми водами или через «гидрогеологические окна», или в районе речных долин, врез которых находится ниже кровли этих горизонтов. Здесь помимо возможного поступления загрязненных грунтовых вод через «гидрогеологические окна» и долины размыва существует еще большая угроза подсосывания загрязненных поверхностных вод через толщу аллювия.

В наименее благоприятных условиях в отношении защищенности находятся, как уже отмечалось выше, грунтовые воды. Действительно, свыше 70% всех выявленных случаев загрязнения подземных вод приходится на их долю.

Оценка степени защищенности водоносных горизонтов в районах проектируемых водозаборов проводится по материалам гидрогеологической и геологической съемок, как плановых, так и специальных, проводившихся на прилегающей к водозаборам территории, а также по материалам разведки самих водозаборов. При этом должны быть получены сведения о мощности, строении и литологическом составе зоны аэрации, их изменении по площади, выявлены участки, наиболее угрожаемые в отношении загрязнения. Целесообразно выяснить закономерности в соотношениях пьезометрических уровней и химического состава различных водоносных горизонтов на участках их совместного распространения.

Снижение пьезометрических уровней эксплуатируемых артезианских водоносных горизонтов при наличии «гидрогеологических окон» в их кровле или подошве может существенно уменьшить степень защищенности последних от подтока минерализованных вод снизу и особенно от подтока загрязненных грунтовых вод сверху, если их уровень ранее был ниже уровня эксплуатируемого водоносного горизонта. Необходимо выделить все участки древних и современных размывов в кровле артезианских водоносных

горизонтов, через которые возможна связь этих горизонтов с вышележащими грунтовыми или поверхностными водами. Необходимо выяснить глубину врезов речных долин и условия взаимосвязи водоносных горизонтов с подрусловыми водами и водами в русле рек.

Наиболее надежным критерием для суждения о связи поверхностных и подземных вод являются наблюдения за режимом уровня подземных вод в приречной зоне в естественных условиях и при откачках. В последнем случае целесообразно иметь данные о режиме уровня подземных вод на противоположном берегу реки или в самом русле. Если влияние откачки распространяется на эти участки — связь поверхностных и подземных вод затруднена.

При обследовании санитарного состояния речных вод следует иметь в виду, что в различное время года оно может быть различным. В частности, в период половодья концентрация загрязняющих веществ может быть во много раз меньше, чем в меженный период, вследствие различной степени разбавления одного и того же количества стоков. Поэтому необходимо иметь данные о санитарном состоянии вод в реке не менее чем на три-четыре срока, в том числе обязательно в меженный период летом и зимой. Кроме этого, следует учитывать и сезонный характер сброса в реки сточных вод некоторых промышленных предприятий.

Все перечисленные выше сведения, дающие представление о степени защищенности водоносных горизонтов от загрязнения, позволяют обоснованно наметить те ограничения, которые должны соблюдаться в пределах второго пояса санитарной охраны. Эти ограничения для различных гидрогеологических условий будут различными.

В пределах второго пояса санитарной охраны водозаборов, эксплуатирующих грунтовые воды, нельзя допускать создание перечисленных выше источников загрязнения, так как в противном случае загрязненные воды, попав тем или иным путем в грунтовый поток, обязательно рано или поздно придут в район водозабора, если, конечно, при движении не будет происходить их самоочищение.

Запрещается проведение земляных работ с разрушением защитного слоя водоносного горизонта и организация золоотвалов, полей фильтрации, строительство промышленных предприятий, территория которых может быть загрязнена, а также сброс сточных вод; ограничивается использование удобрений и ядохимикатов в сельском хозяйстве; регулируются все строительные работы; благоустраиваются существующие населенные пункты; не допускается загрязнение водоемов и водотоков.

При организации второго пояса санитарной охраны водозаборов, эксплуатирующих артезианские воды, в ряде случаев требования могут быть менее строгими. Если есть уверенность, например, что повсюду в пределах рассчитанной зоны санитарной охраны намечаемый к эксплуатации артезианский водоносный горизонт надежно изолирован от грунтовых вод толщей водоупорных отложений, то в пределах этой зоны нельзя лишь оставлять неликвидированными горные выработки (скважины, шахты), нарушившие водоупорную кровлю горизонта, а сама проходка этих выработок должна производиться со строгим контролем за качеством изоляции проходимых выработкой водоносных горизонтов.

Если же известно, что в водоупорной кровле горизонта имеются «гидрогеологические окна» или в пределах рассчитанной зоны санитарной охраны имеются заброшенные разведочные или эксплуатационные скважины, ликвидация которых по тем или иным причинам невозможна, в пределах зоны должны выполняться те же ограничения, что и при эксплуатации грунтовых вод.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ПРИ  
ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗОН  
САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ВОДОЗАБОРОВ,  
РАСПОЛАГАЮЩИХСЯ В РАЙОНАХ ВЫЯВЛЕННОГО  
ИЛИ ВОЗМОЖНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

В ряде случаев в районах, где производится разведка подземных вод для организации водозаборов, обнаруживаются участки распространения загрязненных или засоленных вод, контактирующие с намечаемым к эксплуатации водоносным горизонтом. Иногда таких участков еще нет, но имеются источники, которые могут вызвать загрязнение этих подземных вод.

В таких условиях при проведении разведочных работ необходимы дополнительные исследования, которые должны дать сведения о границах распространения загрязненных или засоленных вод, распределении интенсивности загрязнения или минерализации в плане и по разрезу. Должны быть получены также сведения о самом источнике загрязнения, его масштабах, сезонном или постоянном действии, составе и объеме сточных вод, характере экранированности дна и стенок, если это хранилище, количестве поступающих к подземным водам загрязненных растворов и возможных путях их проникновения. Конечно, не все из перечисленных сведений представится возможным собрать на стадии детальной разведки водозабора. Поэтому при его проектировании необходимо выбрать такое место заложения водозабора, чтобы факторы, оставшиеся невыясненными, не могли оказать влияния на возможность попадания загрязненных веществ в район водозабора.

Для выяснения перечисленных выше вопросов, помимо обследований источников загрязнения, требуется организовать створы наблюдательных скважин главным образом вниз по потоку от источников загрязнения. Проходка этих скважин обязательно должна сопровождаться послойным опробованием подземных вод. На скважинах организовываются режимные наблюдения за распространением загрязнения и за изменением состава загрязненных вод.

Должны быть собраны сведения о всех имеющихся в разведуемом районе бездействующих или заброшенных и не затампонированных эксплуатационных и разведочных скважинах, об имеющихся поглощающих скважинах. К специальным исследованиям, которые в ряде случаев требуется провести на разведуемом участке, относится опытное определение эффективной пористости с использованием в качестве индикатора загрязненных растворов того же состава, что и в очаге загрязнения.

## **ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АРТЕЗИАНСКИХ ВОД БАССЕЙНОВ ПЛАТФОРМЕННОГО ТИПА**

Наиболее крупными артезианскими бассейнами платформ на территории Советского Союза являются Западно-Сибирский, Московский, Днепровско-Донецкий и др. Артезианские бассейны платформ содержат огромные естественные запасы пресных подземных вод, которые используются для водоснабжения крупных городов и промышленных объектов. Крупные водозаборы в артезианских бассейнах, как правило, работают при неустановившемся режиме; наблюдаемые понижения в центральных частях воронок депрессий достигают нескольких десятков метров (до 70—80), а радиусы влияния отдельных водозаборов измеряются десятками километров (до 25—30 км). В настоящее время на площади ряда артезианских бассейнов производятся большие поисковые и разведочные работы для изыскания источников водоснабжения, удовлетворяющих потребность в воде до  $2—3 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

Рассматриваемые в этой главе особенности гидрогеологических условий артезианских бассейнов определяют методику поисков и разведки подземных вод для крупного водоснабжения.

Артезианские бассейны платформ представляют собой гидродинамические системы водоносных горизонтов и комплексов, выдержанных на огромной площади, измеряемой сотнями тысяч квадратных километров. Как правило, в вертикальном разрезе выделяется несколько водоносных горизонтов, изолированных друг от друга более или менее непроницаемыми толщами.

Для крупного водоснабжения используются так называемые основные водоносные горизонты, которые характеризуются оптимальными показателями. Глубина залегания и величины напоров основных водоносных горизонтов обычно увеличиваются от краевых

частей бассейнов к центральным. В связи с тем, что напоры достигают значительных величин, измеряемых десятками и сотнями метров, эксплуатация подземных вод происходит главным образом за счет снятия напоров и только в отдельных случаях приводит к частичному осушению водоносного горизонта.

Мощности водовмещающих пород обычно измеряются первыми десятками метров, но в отдельных бассейнах, например в Московском, они достигают 100 м и более.

Для артезианских бассейнов характерно увеличение минерализации по мере погружения водоносных горизонтов и удаления от областей питания. Для целей водоснабжения используются в основном пресные воды, расположенные в верхней гидрохимической зоне, мощность которой достигает 500—600 м и более.

Основные водоносные горизонты, как правило, достаточно надежно защищены от поверхностного загрязнения и содержат бактериально чистые воды.

Естественный (не нарушенный эксплуатацией) режим подземных вод с погружением горизонтов все меньше испытывает на себе влияние метеорологических и гидрологических факторов. В центральных частях артезианских бассейнов амплитуды колебания уровня подземных вод незначительны и связаны в основном с изменениями атмосферного давления. В связи со значительными величинами напоров и расчетных понижений не учет естественных колебаний уровней не приводит к ощутимым погрешностям в гидрогеологических расчетах.

### **ВЫБОР РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Все разнообразие природных гидрогеологических условий, наблюдаемых в артезианских бассейнах платформ, может быть сведено к нескольким расчетным схемам.

Если участок водозабора удален от границ пласта на расстояние, измеряемое десятками километров, и в процессе эксплуатации водозабора границы не будут влиять на режим его работы, пласт может рассматриваться как «неограниченный». Например, схема «неограниченного» пласта была принята при расчетах водозаборов для г. Саранска, расположенного в артезианском бассейне. Выходы на поверхность карбонатных известняков, которые являются основным водоносным горизонтом в бассейне, располагаются к северу и северо-западу от участков разведки, на расстоянии 50 км и более.

При расположении водозабора вблизи границ пласта необходимо учитывать влияние этих границ на работу водозабора. На границах пласта могут наблюдаться следующие условия:

1) постоянство напора, когда пласт выклинивается под реку, озеро или под аллювиальные отложения, связанные с рекой. Последняя, в естественных условиях является областью питания или превратится в нее в процессе эксплуатации водозабора;

2) граница пласта может проходить по линии выклинивания водоносного горизонта, по тектоническим нарушениям, по зоне резкого уменьшения фильтрационных свойств водовмещающих пород и т. п. Приток на границе пласта в этих условиях незначительный, им можно пренебречь и считать его равным нулю.

В процессе производства разведочных работ необходимо выявить характер связи основного водоносного горизонта с выше- и нижележащими. Связь его с горизонтами пресных вод является положительным фактором, так как увеличивает эксплуатационные запасы. Однако наличие в соседних водоносных горизонтах минерализованных или загрязненных вод может привести к ухудшению качества откачиваемой воды. Граничные условия в вертикальном разрезе могут быть сведены к двум основным схемам:

1) основной водоносный горизонт изолирован от выше- и нижележащих толщ относительно непроницаемых глинистых пород. Мощность этой толщи изменяется в широких пределах от нескольких метров (каширские глины в Московском артезианском бассейне) до нескольких десятков метров и более (средне- и верхнесарматские глины в Приазово-Кубанском артезианском бассейне);



2) основной водоносный горизонт сообщается с выше- и нижележащими горизонтами через отдельные «окна», которые могут быть приурочены к размывам водоупорных пород, тектоническим нарушениям, а также связаны с изменением литологического состава перекрывающих толщ.

В процессе эксплуатации водозабора и образования депрессионной воронки возможно развитие процесса перетекания в основной водоносный горизонт из выше- и нижележащих горизонтов через слабо проницаемые толщи и «окна». Однако в настоящее время методика расчета эксплуатационных запасов подземных вод с учетом перетекания мало разработана, и эксплуатационные запасы в артезианских бассейнах, как правило, определяются по формулам, выведенным для пластов с непроницаемой верхней и нижней границами, и поэтому несколько занижаются.

### **ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Поисковые работы. В настоящее время в артезианских бассейнах пробурено множество скважин и они эксплуатируются на подземные воды; большое число скважин опробовано также опытными откачками в связи с разведочными работами на различные полезные ископаемые и в процессе гидрогеологических съемок; составлены гидрогеологические карты основных водоносных горизонтов и написаны монографии, характеризующие геологические и гидрогеологические условия бассейнов. Поэтому основные работы на поисковой стадии должны заключаться в сборе и анализе фондовых и опубликованных материалов, характеризующих геологические и гидрогеологические условия района, и в обследовании и изучении режима работы действующих водозаборов и отдельных эксплуатационных скважин.

В практике Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых встречается много случаев, когда в районе города, для которого производится разведка и оценка эксплуатационных запасов подземных вод, действует один или несколько водозаборов, вскрывающих артезианские воды основного водоносного горизонта. В подобных случаях необходимо провести тщательный анализ работы этих водозаборов и выявить возможность их дальнейшего расширения для удовлетворения возросшей потребности города в воде.

Работа на действующих водозаборах должна заключаться:

- 1) в сборе архивных и фондовых материалов;
- 2) в обследовании эксплуатационных скважин, расположенных непосредственно на площади водозабора и в радиусе его влияния;
- 3) в постановке длительных режимных наблюдений;
- 4) в проведении опытных работ для определения параметров.

В результате сбора материалов и обследования скважин должно быть выявлено число эксплуатирующихся и законсервированных скважин, режим их работы, конструкция, насосное оборудование, дебит скважин и положение динамического уровня, химический и бактериологический состав подземных вод. По возможности должна быть восстановлена история развития водоотбора и изменения положения динамического уровня во времени.

На водозаборе следует организовать постоянные режимные наблюдения (если они еще не ведутся) для характеристики развития воронки депрессии во времени, изменения химического состава подземных вод, для чего может потребоваться бурение наблюдательных скважин.

По результатам наблюдений на отдельных эксплуатационных скважинах за восстановлением уровня во время кратковременных остановок, а также по работе всего водозабора (изменение суммарного дебита и снижение пьезометрического уровня в отдельных точках воронки депрессии) определяются основные параметры водоносного горизонта: водопроводимость пласта и коэффициент пьезопроводности. Особенно ценны параметры, определенные по результатам многолетней работы водозабора, так как они отражают все источники питания водоносного горизонта и дают усредненные характеристики значительной территории. В процессе длительной работы водозабора развиваются процессы перетекания, которые приводят к замедлению темпов развития

воронки депрессий и учитываются в значениях коэффициентов пьезопроводности и водопроницаемости. (Методика определения параметров на действующих водозаборах изложена в главе VIII.)

В результате изучения работы действующих водозаборов определяются дебиты эксплуатационных скважин, наиболее рациональные расстояния между ними, изменение химического состава подземных вод в процессе эксплуатации, скорость продвижения границ пресных и минерализованных вод в плане и в разрезе (если эти границы находятся в зоне влияния водозабора).

Только после всестороннего анализа действующих водозаборов в районе поисковых работ, определения основных параметров водоносного горизонта и прогноза развития воронки депрессии во времени можно переходить к расширению водоотбора на действующем водозаборе или к выбору участков для постановки разведочных работ. К сожалению, такая последовательность работ в большинстве случаев не выдерживается, и анализ работы водозабора осуществляется не в период поисковых исследований, а во время предварительной и детальной разведок на выбранных участках. В результате оказывается, что участки выбраны слишком близко к действующим водозаборами, в зоне их интенсивного влияния, разведочные скважины сближены и т. п. Так произошло при расширении водоснабжения одного из крупных городов для участка, который был выбран на расстоянии 4—6 км от водозабора, действующего в районе города, в зоне его интенсивного влияния. Разведочно-эксплуатационные скважины были пробурены на расстоянии 200 м друг от друга, а наблюдательные скважины удалены от центральных на 20—40—70 м. Учитывая неудачный опыт работы на первом участке, другие участки были удалены от действующего водозабора на расстояние 10—16 км, где его влияние уже незначительно, а расстояние между разведочно-эксплуатационными скважинами увеличено до 0,8—1,0 км.

Кроме анализа режима работы отдельных водозаборов в процессе поисковых работ должна быть дана площадная характеристика гидрогеологических условий. Размер площади исследований определяется на основании следующих соображений.

Опыт показывает, что отдельные групповые водозаборы в артезианских бассейнах имеют дебиты 0,3—0,7 м<sup>3</sup>/сек, поэтому для получения расхода 1—2 м<sup>3</sup>/сек должно быть создано несколько рассредоточенных водозаборов. При небольших потребностях, соизмеримых с дебитом одного водозабора, для предварительной разведки также может быть намечено несколько участков с тем, чтобы выбрать наиболее перспективный под детальную разведку.

Вокруг действующих водозаборов развиваются значительные воронки депрессии, радиусы влияния которых колеблются от нескольких до 25—30 км, а местами и более. Поэтому, как показывает опыт эксплуатации подземных вод, проектируемые водозаборы должны быть рассредоточены на значительной площади и удалены друг от друга и от действующих водозаборов на расстояние до 10 км и более. Следовательно, при изыскании для крупного водоснабжения гидрогеологические условия необходимо проанализировать на площади, измеряемой сотнями и тысячами квадратных километров, а в небольших артезианских бассейнах гидрогеологические условия должны быть охарактеризованы на площади всего бассейна.

В результате анализа действующих водозаборов, отдельных скважин и собранных материалов для выбранной площади должна быть составлена гидрогеологическая карта масштаба 1:100 000—1:500 000; на ней следует показать распространение основного водоносного горизонта, его пьезометрическую поверхность, изменение мощности, глубин залегания, водопроницаемости водовмещающих пород, распределение напоров, а также привести характеристику химического состава подземных вод. На выделенной площади должны быть охарактеризованы водоносные горизонты, подстилающие и перекрывающие основной горизонт, и характер их взаимосвязи.

Гидрогеологическую съемку в пределах выделенной территории проводить нецелесообразно, так как основные водоносные горизонты залегают на глубине 100—200 м, а местами и более и, как правило, не имеют водопроводимости на поверхности. Поэтому

при недостатке фактического материала для гидрогеологической характеристики выделенной площади и выбора перспективных участков в отдельных точках бурятся поисково-разведочные скважины. На скважинах проводятся одиночные откачки на одно максимально возможное понижение продолжительностью в несколько суток. По данным откачек определяется коэффициент водопроницаемости пласта.

Поисковые работы заканчиваются выбором участка или участков для предварительной разведки.

Предварительная разведка. На участках, рекомендуемых для производства разведочных работ, обычно имеются единичные разведочные или эксплуатационные скважины. Поэтому в хорошо изученных районах, при наличии простых гидрогеологических условий, известных дебитах эксплуатационных скважин и параметрах водоносного горизонта, стадия предварительной разведки может быть опущена.

Предварительную разведку целесообразно проводить в слабо изученных районах, в районах со сложными гидрогеологическими условиями (например, при резкой неоднородности водовмещающих пород на площади). Если в результате поисков выделено несколько участков, то их необходимо сравнить между собой и выбрать под детальную разведку наиболее перспективные.

На участках, выбранных для предварительной разведки, производится рекогносцировочное обследование и уточняется их положение на местности. Местоположение участков согласовывается с проектирующими и местными советскими организациями и органами санитарной инспекции. В процессе предварительной разведки уточняются гидрогеологические условия в пределах выбранных участков.

В артезианских бассейнах водозаборы располагаются, как правило, в долинах рек, где пьезометрический уровень подземных вод залегает ближе к дневной поверхности, чем на водоразделе. Поэтому направление долины и ее ширина часто определяют и положение разведочных скважин. Вдоль узких долин разведку целесообразно проводить однолинейным рядом скважин, вытянутых вдоль долины. В речных долинах, ширина которых измеряется километрами, или на водоразделах в результате предварительной разведки дается площадная характеристика участка, и скважины располагаются в виде сетки. Расстояние между разведочными скважинами в зависимости от гидрогеологических условий может изменяться от 1,5—2,0 до 4—5 км. На всех пробуренных скважинах основной водоносный горизонт опробуется откачкой на одно максимально возможное понижение продолжительностью в несколько суток. По результатам этих откачек определяется коэффициент водопроницаемости пласта. В нескольких точках пробные откачки проводятся для характеристики водоносных горизонтов, перекрывающих и подстилающих основной. Изучение режима подземных вод на участке организуется на нескольких скважинах по мере их бурения.

Кроме проведения работ непосредственно на выбранном участке в процессе предварительной разведки может возникнуть необходимость уточнения гидрогеологических условий в районе границ основного водоносного горизонта, если они будут влиять на режим эксплуатации будущего водозабора. Например, если участок разведки расположен около крупной реки, необходимо установить наличие гидравлической связи между подземными и поверхностными водами и возможность превращения реки в область питания при эксплуатации водозабора. Методика и объем работ для решения этой задачи излагаются в главе XIX.

В процессе предварительной разведки уточняются также границы распространения (в разрезе и плане) пресных и минерализованных вод, если существует опасность, что в процессе эксплуатации водозабора произойдет подсос минерализованных вод. Необходимость изучения этой границы определяется на основании предварительного прогнозного расчета (Бабушкин, Глазунов, Гольдберг, 1962). В результате проведения предварительной разведки выбирается участок (или участки) расположения водозабора, уточняются схема водозабора и граничные условия.

Выбор схемы водозабора проводится на основании технико-экономического

сравнения нескольких вариантов совместно с проектировщиками. Так как водозаборы в большинстве случаев приурочены к долинам рек, их местоположение и схема определяются направлением и шириной долины. В узких долинах закладываются линейные водозаборы, в широких долинах и на водоразделах — линейные, кольцевые батареи, сетки скважин, Г-образный ряд. Расстояние между скважинами в водозаборе определяется технико-экономическими расчетами; на действующих водозаборах эти расстояния изменяются от 100—200 до 500 м, редко более. Дебиты проектируемых скважин выбираются на основании опыта эксплуатации скважин в районе разведки. По данным предварительной разведки, применительно к выбранной схеме водозабора, делается подсчет эксплуатационных запасов подземных вод. Расчет производится гидродинамическим методом и сводится к определению понижения уровня на водозаборе к концу расчетного срока эксплуатации, с учетом взаимодействия всех водозаборов.

При расположении водозаборов вдали от границ пласта («безграничный пласт») применяется расчетная формула

$$s = \frac{1}{2\pi (km)_{cp}} [Q_{сум} \ln R_n - (Q \ln r_0 + Q_1 \ln r_1 + Q_2 \ln r_2 + \dots + Q_n \ln r_n)], \quad (XII, 1)$$

где  $Q_{сум}$  — суммарный дебит всех взаимодействующих водозаборов;

$Q$  — дебит водозабора, для которого рассчитывается понижение уровня воды ( $s$ );

$Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  — дебиты взаимодействующих водозаборов, расположенных соответственно на расстояниях  $r_1, r_2, \dots, r_n$  от водозабора, в котором определяется понижение;

$r_0$  — радиус водозабора, в котором определяется понижение;

$(km)_{cp}$  — среднее значение коэффициента водопроницаемости пласта на площади размещения водозаборов;

$R_n$  — приведенный радиус влияния, рассчитываемый по формуле:

$$R_n = 1,5 \sqrt{at}. \quad (XII, 2)$$

Водозабор рассматривается как «большой колодец», радиус которого рассчитывается по формулам, приведенным в главе II. Ориентировочные размеры проектируемого водозабора определяются на основании предполагаемого дебита водозабора, расхода одной скважины, возможного числа скважин и схемы их размещения.

Значение коэффициента пьезопроводности в слабо изученных районах может приниматься по аналогии с другими участками или бассейнами.

При расположении водозаборов вблизи реки, которая может быть принята за границу с постоянным напором, формула для определения понижения в водозаборе, с учетом срезок, выразится следующим образом:

$$s = \frac{1}{2\pi (km)_{cp}} \left[ Q \ln \frac{2l}{r_0} + Q_1 \ln \frac{\rho_1}{r_1} + Q_2 \ln \frac{\rho_2}{r_2} + \dots + Q_n \ln \frac{\rho_n}{r_n} \right], \quad (XII, 3)$$

где  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$  — расстояние до зеркально отраженных водозаборов;  
 $l$  — расстояние от реки до водозабора, в котором определяется понижение ( $s$ ).

При влиянии на работу водозаборов непроницаемых границ пласта общее понижение в каждом из водозаборов, с учетом влияния других водозаборов, определяется по формуле

$$s = \frac{1}{2\pi (km)_{cp}} [2Q_{сум} \ln R_n (Q \ln 2r_0 \rho + Q_1 \ln r_1 \rho_1 + Q_2 \ln r_2 \rho_2 + \dots + Q_n \ln r_n \rho_n)]. \quad (XII, 4)$$

Во всех приведенных формулах (XII, 1—XII, 4) реальные водозаборы заменены единичными большими колодцами. Эту замену можно производить в том случае, если

расстояние между водозаборами в 1,5 — 2 раза больше, чем их радиусы (Бочевер, 1963).

Детальная разведка. На стадии детальной разведки места заложения буровых скважин определяются выбранной схемой водозабора. В связи с тем, что глубина эксплуатационных скважин в артезианских бассейнах составляет 100—200 м и более, а геологические условия относительно выдержаны на больших площадях, в процессе детальной разведки целесообразно бурение разведочно-эксплуатационных скважин. Исключение могут составлять районы развития неравномерно трещиноватых и закарстованных известняков, в которых наблюдаются резкие колебания фильтрационных свойств по площади.

Количество разведочно-эксплуатационных скважин определяется предварительным расчетом, основанным на необходимости получения в результате разведочных работ около 50% эксплуатационных запасов подземных вод по кат. А<sub>1</sub> согласно требованиям инструкции ГКЗ. Разведочно-эксплуатационные скважины рекомендуется закладывать не ближе двойного расстояния между проектируемыми эксплуатационными скважинами в водозаборе. В условиях неравномерной трещиноватости и закарстованности, характерной для известняков, число скважин, пробуренных в процессе детальной разведки, может быть увеличено до 60—70% от проектируемых. На всех пробуренных скважинах производится комплекс геофизических исследований для уточнения геологического и гидрогеологического разрезов, выявления мест установки фильтров в рыхлых породах и изучения изменения фильтрационных свойств трещиноватых пород в разрезе, что особенно важно, если в процессе эксплуатации водозабора ожидается частичное осушение водоносного горизонта.

На всех вновь пробуренных скважинах проводятся откачки на одно максимально возможное понижение продолжительностью в несколько суток, с дебитом, близким к эксплуатационному. В тех случаях, если отсутствуют достаточно мощные насосы для получения проектируемых дебитов, для построения графика зависимости дебита от понижения и определения эксплуатационного дебита скважин следует провести опытные откачки на два понижения (Язвин, 1965).

Для определения параметров пластов (коэффициентов водопроницаемости и пьезопроводности) более надежны данные, полученные по наблюдательным скважинам. В качестве наблюдательных по возможности следует использовать пробуренные ранее разведочные и разведочно-эксплуатационные скважины, для чего, возможно, потребуется увеличение продолжительности откачки. При необходимости бурения специальных наблюдательных скважин расстояния между ними и схема размещения определяются расчетами, изложенными в главе VIII.

В трещиноватых породах при проектировании осушения верхней части водоносного горизонта целесообразно осуществить поинтервальное опробование части скважин для определения изменения фильтрационных свойств водовмещающих пород по глубине.

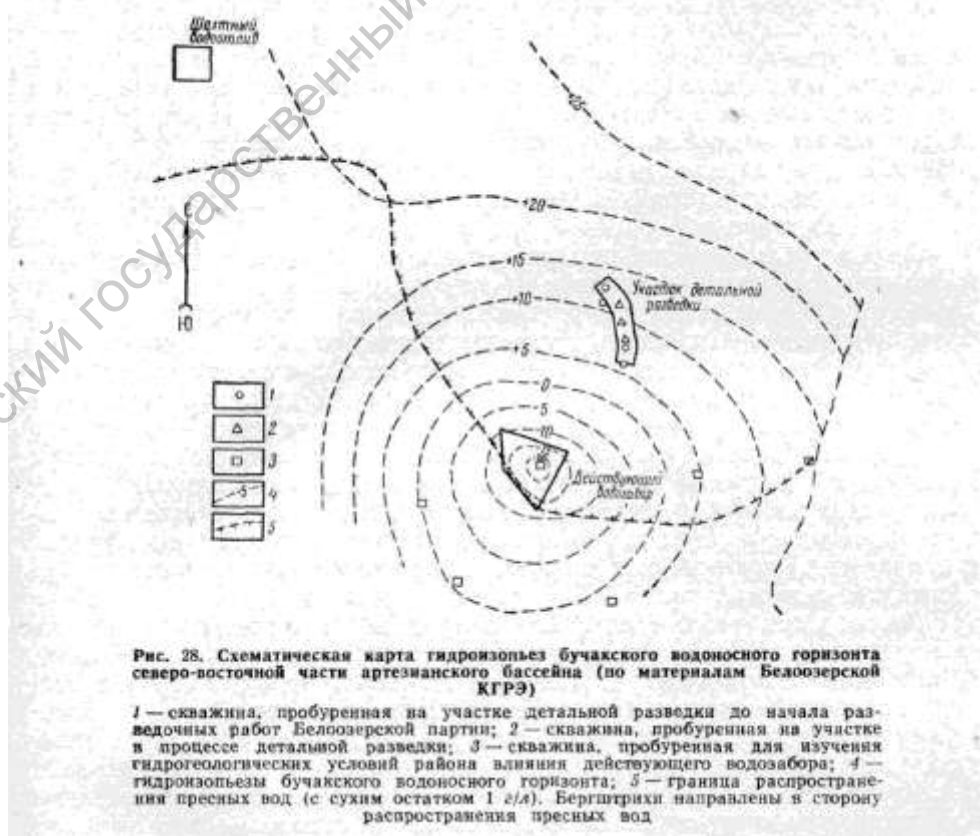
При распространении минерализованных вод в водоносных горизонтах, перекрывающих или подстилающих основной, и наличии связи с этими горизонтами через слабо проницаемые слои или «окна», возникает опасность ухудшения качества воды при эксплуатации водозабора. Однако в настоящее время мы не можем с достаточной точностью прогнозировать развитие этого процесса с помощью аналитических расчетов. Продолжительные откачки также не дают желаемых результатов, так как продвижение границы пресных и минерализованных вод — процесс достаточно длительный, и, кроме того, при работе водозабора этот процесс может происходить в совершенно других масштабах. Поэтому в настоящее время основным материалом, по которому можно судить об изменениях качества воды в процессе эксплуатации, является анализ изменения химического состава подземных вод на действующих водозаборах в районе разведочных работ.

Расчет эксплуатационных запасов подземных вод в артезианских бассейнах производится гидродинамическими методами или при совместном применении гидравлического и гидродинамического методов.

## ПРИМЕР РАЗВЕДКИ И ПОДСЧЕТА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Для иллюстрации основных положений, изложенных в настоящей главе, нами приводится пример поисков и разведки подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения одного из населенных пунктов, расположенного в пределах артезианского бассейна. Для описания использованы материалы разведочных работ с подсчетом запасов подземных вод. В геологическом строении района принимают участие породы докембрия и отложения осадочной толщи меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем. В районе выделяется ряд водоносных горизонтов, отделенных друг от друга водоупорными глинистыми отложениями. Наибольшее практическое значение для организации хозяйственно-питьевого водоснабжения имеет здесь бучакский водоносный горизонт, который залегает на глубине около 300 м. Водовмещающими породами бучакского горизонта являются разноразмерные пески, мощность которых меняется от 20 до 50 м. В кровле горизонта залегают мергели и глины киевского яруса, в подошве — палеоценовые глины или глинистые пески, подстилаемые верхнемеловыми водонепроницаемыми алевритами. Бучакский водоносный горизонт — напорный; напоры колеблются от 180 до 300 м. Глубина залегания пьезометрического уровня от поверхности земли изменяется от 2—30 м в понижениях рельефа до 60—70 м на водоразделах. Минерализация подземных вод к северу от рассматриваемой территории не превышает 1 г/л, южнее минерализация увеличивается до 2—3 г/л. Область питания находится в северо-восточной части района на расстоянии 50—60 км от водозабора. Дренируется водоносный горизонт открытым водным бассейном.

На территории водозабора действует ряд эксплуатационных скважин, вскрывающих воды бучакских песков (рис. 28). В связи с возросшей потребностью в воде была поставлена задача изыскания дополнительных источников водоснабжения. Изыскательские работы для решения этой задачи проводились в два этапа. Работы первого этапа заключались в тщательном анализе действующего водозабора, гидрогеологических условий восточной части артезианского бассейна и проводились в следующей последовательности:



- 1) сбор архивных и фондовых материалов по истории развития водозабора;
- 2) сбор фондового материала для характеристики гидрогеологических и геологических условий северо-восточной части артезианского бассейна на площади около 8 тыс км<sup>2</sup>;
- 3) обследование всех эксплуатационных скважин водозабора и около 90 действующих скважин, эксплуатирующих бучакский горизонт и расположенных в районе депрессивной воронки водозабора на площади около 1500 км<sup>2</sup>;
- 4) проведение опытных работ с целью остановки отдельных эксплуатационных скважин и наблюдения за восстановлением уровня в районе водозабора; по данным этих наблюдений определяют гидрогеологические параметры пласта;
- 5) выявление недостаточной изученности гидрогеологических условий в южном, восточном и западном направлениях от водозабора. Для изучения бучакского водоносного горизонта в этих направлениях, определения химического состава подземных вод, оконтуривания и последующего наблюдения за развитием воронки депрессии были пробурены шесть разведочных скважин. Для получения характеристики гидрогеологических условий на более обширной территории эти скважины бурились на расстоянии до 10 км от водозабора, одна скважина была пройдена около тектонического разлома для изучения гидрогеологических условий в районе восточной границы бучакского водоносного горизонта и одна скважина была пробурена в центральной части водозабора для наблюдения за уровнем подземных вод в наиболее глубокой части воронки депрессии. Все пробуренные скважины опробовались откачками на 1—2 понижения, со средней продолжительностью 4 — 6 суток;
- б) организация режимных наблюдений: замер динамических уровней и расходов воды по отдельным скважинам и отбор проб на химический анализ во время всего периода полевых работ на действующем водозаборе.

В результате проведенных работ была получена характеристика геологических и гидрогеологических условий северо-восточной части артезианского бассейна, выявлены граничные условия и определены параметры бучакского водоносного пласта, оконтурена воронка депрессии действующего водозабора. Было установлено, что на участке действующего водозабора ресурсы подземных вод ограничены и дальнейшее его расширение невозможно. Поэтому для удовлетворения возросшей потребности города в воде был выделен участок для постановки разведочных работ.

Выбор участка произведен на основании учета ряда геологических и гидрогеологических факторов: к югу от участка действующего водозабора минерализация подземных вод увеличивается до 2—3 г/л и более, к востоку — песчаные фации переходят в глинистые и ухудшаются фильтрационные свойства водовмещающих пород; к северо-западу расположено месторождение полезного ископаемого, разработка которого ведется со значительным водопонижением. В районе водозабора снижение уровней достигло предельных значений и увеличение водоотбора исключено. В результате анализа всех перечисленных условий участок разведочных работ был выбран в долине реки, в 15—16 км к северо-востоку от основного действующего водозабора, но в зоне его влияния и в пределах его воронки депрессии, поскольку радиус влияния ее составляет около 25 км.

*Второй этап работ* заключался в проведении разведки на выбранном участке. На участке и на территории, прилегающей к нему, действовали четыре эксплуатационные скважины, пробуренные в бучакском горизонте, которые были обследованы на первом этапе работы. Поэтому в пределах участка имелись данные о фильтрационных свойствах водовмещающих пород и дебитах эксплуатационных скважин. В связи с этим была пропущена стадия предварительной разведки и по имеющимся материалам намечена схема водозабора — линейный ряд скважин длиной около 7 км, вытянутый вдоль речной долины. Применительно к выбранной схеме водозабора были пробурены дополнительно три разведочно-эксплуатационные скважины глубиной около 250 м, на расстоянии 1,5 км друг от друга. Для подсчета эксплуатационных запасов были использованы также две эксплуатирующиеся скважины, расположенные в этом же ряду.

Все скважины были опробованы опытными откачками на несколько понижений. Третье, наиболее мощное, понижение поддерживалось в течение 15—17 дней до относительной стабилизации уровня в центральных скважинах, при постоянных расходах. Влияние откачки распространялось на расстояние до 4 км, и в качестве наблюдательных использовались все пробуренные и существующие на участке скважины.

По результатам наблюдений за неустановившимся движением в наблюдательных скважинах были определены параметры пласта: коэффициенты водопроводимости и пьезопроводности. Геофизические работы на участке заключались в стандартном каротаже и резистивиметрии, которые проводились для уточнения геологического разреза и выявления наиболее обводненных участков для постановки фильтров.

После окончания разведки для уточнения выбранной схемы водозабора авторы провели расчеты 6 вариантов линейного ряда скважин при различных расстояниях между скважинами и различных дебитах скважин. В результате этих расчетов наиболее оптимальные показатели были получены для 13 скважин, при среднем расстоянии между скважинами 500 м.

Расчет эксплуатационных запасов на проектируемом водозаборе произведен гидродинамическим методом, с учетом взаимодействия с действующим водозабором и шахтным водоотливом. При расчетах была принята схема полуограниченного пласта с нулевым расхождением на границе. За непроницаемую границу был принят тектонический разлом, расположенный в 20 км к востоку, по которому наблюдается выклинивание бучакского водоносного горизонта. Сверху и снизу бучакский водоносный горизонт перекрывается мощной толщей относительно водоупорных пород.

Из числа общих запасов к кат. А отнесены запасы, соответствующие максимальным фактическим дебитам, полученным при одновременных опытных откачках из пяти скважин. К кат. В отнесены запасы, соответствующие расходам восьми проектируемых скважин, которые предполагается заложить между пятью существующими, и расходы трех пробуренных скважин, рассчитанные путем экстраполяции на двукратные понижения уровня. Кроме этого, по результатам режимных наблюдений и определению снижения уровня к концу расчетного периода подсчитаны запасы по кат. А+В на площади действующего водозабора. Подсчет скорости продвижения контура подземных вод повышенной минерализации к водозабору установил, что в течение расчетного срока сухой остаток в водах южной части скважин водозабора может увеличиться до 1,3 г/л. Превышение допустимой величины минерализации было согласовано с республиканскими организациями санитарного надзора.

Работы по оценке эксплуатационных запасов подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Мелитополя проведены в целом целеустремленно и методически правильно, с учетом изученности подземных вод района в предшествующий период времени.

По проведенным работам имеются два замечания:

1. Гидродинамические расчеты для определения наиболее рациональной схемы водозабора надо было провести перед началом детальной разведки, а после окончания разведки — уточнить эту схему, с учетом полученных параметров. И кроме гидродинамического следовало бы сделать технико-экономический расчет нескольких вариантов водозабора.

2. Время проведения максимального понижения на разведочно-эксплуатационных скважинах могло быть несколько сокращено против фактических 11—17 суток, так как закономерности темпа снижения уровня в наблюдательных скважинах установлены в первые 7—8 суток откачки.

## **ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТРЕЩИННЫХ ГРУНТОВЫХ ВОД ИЗВЕРЖЕННЫХ ПОРОД**

Трещинные грунтовые воды содержатся в верхней наиболее трещиноватой зоне изверженных (интрузивных и эффузивных) пород.



В горноскладчатых областях трещинные воды встречаются в пределах распространения интрузивных массивов и покровах эффузивных пород.

Интрузивные породы обычно обладают небольшой водообильностью и используются чаще для мелкого рассредоточенного водоснабжения. В отдельных случаях, когда мощность и водопроницаемость обводненной трещиноватой зоны значительна, а условия возобновляемости их естественных ресурсов благоприятны, трещинные грунтовые воды интрузивных пород могут быть использованы для крупного водоснабжения.

Эффузивные породы обладают значительной водообильностью. Мощные потоки трещинных грунтовых вод формируются в покровах и отдельных пластах четвертичных и плиоценовых лав, в районах новейшего вулканического нагорья Армении и других местах. Они характеризуются интенсивной циркуляцией подземных вод по крупным трещинам в лавах и концентрированной разгрузкой в виде крупных нисходящих родников. Однако опыта разведки эксплуатационных запасов трещинных вод лавовых потоков не имеется; они обычно используются путем каптирования отдельных родников. Поэтому в данном методическом пособии методика поисков и разведки трещинных вод эффузивных пород не рассматривается.

В платформенных областях трещинные грунтовые воды приурочены к древним кристаллическим массивам (Украинский, Карело-Финский). Они широко используются для рассредоточенного водоснабжения. Вместе с тем в отдельных благоприятных условиях они могут обеспечить водоснабжение с расходами водозаборов в несколько десятков литров в секунду.

Наибольшей трещиноватостью отличаются кристаллические породы, залегающие в долинах рек. Здесь с помощью инфильтрационных водозаборов можно получить значительное количество воды, которое может обеспечить крупное водоснабжение. Условия накопления и движения подземных вод в трещиноватых породах в значительной мере зависят от количества и размера трещин и степени кольматации последних. Эти факторы определяют также и взаимосвязь подземных вод отдельных трещин между собой.

Трещиноватость описываемых пород обуславливается в основном тектоникой района и процессами выветривания. Особенности трещиноватости пород зависят от их петрографического состава, возраста, а также рельефа местности и ряда других причин.

Распределение трещин в породах в одних случаях бывает без видимой закономерности, а в других отмечается их ориентированность в тех или иных направлениях. В верхней зоне трещиноватых пород трещины обычно связаны между собой, и трещинные воды, как правило, образуют здесь единую гидравлическую систему.

В вертикальном направлении происходит постепенное затухание трещиноватости, которая в различных породах и в различных геологических условиях распространяется на различную глубину. Но, как правило, зона трещиноватости пород, в которой может происходить активная циркуляция подземных вод, обычно не превышает 100—120 м. Исключение составляют зоны крупных тектонических нарушений, уходящие иногда на большую глубину.

Питание трещинных грунтовых вод происходит за счет атмосферных осадков на большей части площади распространения водоносного горизонта. В пределах этой площади происходит их дренирование речными долинами. Это способствует усиленному водообмену трещинных вод, благодаря чему степень минерализации их обычно незначительная.

В районах с недостаточным увлажнением часто встречаются трещинные воды с повышенной минерализацией, непригодные для питьевого водоснабжения. Это обстоятельство усугубляется в тех случаях, когда трещинные водоносные горизонты покрыты водонепроницаемыми породами и область питания их атмосферными осадками значительно уменьшается.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ

В условиях трещинных «грунтовых вод в связи с неоднородностью фильтрационных свойств пород в плане и разрезе расчет эксплуатационных запасов подземных вод проводится гидравлическими методами с привлечением балансового метода.

Гидравлический метод, основывающийся на данных опытных откачек, дает возможность установить зависимость дебита от понижения и выяснить характер взаимодействия скважин при групповых откачках. Пользуясь этими данными, можно определить эксплуатационные запасы подземных вод и рассчитать возможные понижения уровня в скважинах для проектируемых эксплуатационных дебитов.

В безнапорных грунтовых водах теоретически зависимость понижения от дебита является параболической. Однако в трещиноватых породах, где водонепроницаемость обычно уменьшается с глубиной, понижение уровня грунтовых вод при увеличении дебита будет расти быстрее, чем это было бы в породах с одинаковой водонепроницаемостью. Поэтому, определение эксплуатационного понижения путем экстраполяции данных опытных откачек в условиях трещинных грунтовых вод может дать завышенные дебиты. В этих случаях рекомендуется проводить зональные опытные откачки и организовать исследования водопроницаемости по вертикали методом резистивиметрии.

Для установления восполняемости эксплуатационных запасов необходимо определить естественные ресурсы подземных вод по величине питания водоносных горизонтов атмосферными осадками, методом расчленения гидрографа общего стока реки или гидрогеологическими методами путем определения величины подземного стока.

Водозаборы в трещинных грунтовых водах изверженных пород целесообразно располагать возле реки. В этих условиях очень часто непосредственно на кристаллических породах залегают аллювиальные отложения различной мощности, определяющие связь водоносного горизонта кристаллических пород с поверхностными водами. Когда аллювиальные отложения сложены водоупорными суглинками или глинами, трещинные грунтовые воды приобретают напор.

Если трещинные грунтовые воды обладают хорошей гидравлической связью с поверхностными водами и атмосферой, а водозабор расположен на небольшом расстоянии от реки, то привлекаемые запасы поверхностных вод могут полностью компенсировать отбираемую при эксплуатации водозабора воду, и тогда устанавливается стационарный режим фильтрации.

Определение эксплуатационных запасов трещинных вод производится гидравлическими методами, с оценкой производительности скважин по данным опытных и опытно-эксплуатационных откачек. В этом случае в наибольшей мере учитывается неоднородность пласта.

Расчет понижения уровня  $s$  в скважине или системе взаимодействующих скважин, состоящих из  $n$  скважин, по данным опытных и опытно-эксплуатационных откачек, ведется по следующей формуле:

$$s = s_0 + \sum_{i=1}^{n-1} s_i, \quad (\text{XIV}, 1)$$

где  $s$  — полное понижение уровня воды в скважине,  $m$ ;

$s_0$  — понижение уровня, которое будет получено при откачке из одной скважины с эксплуатационным расходом  $Q_0$ , (определяется по кривой дебита), без учета влияния взаимодействующих скважин,  $m$ ;

$s_i$  — понижение уровня (срезка) в рассматриваемой скважине, при откачке из  $i$ -й взаимодействующей с ней скважины с соответствующим эксплуатационным расходом  $Q_i$

$$\sum_{i=1}^n s_i$$

— сумма срезов в рассматриваемой скважине под влиянием всех совместно работающих скважин.

Срезки от опробованных скважин, включенных в схему водозабора,

определяются опытным путем. Срезки от проектных скважин водозабора определяются интерполяцией.

## ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Описание методики гидрогеологических исследований трещинных грунтовых вод изверженных пород дается для условий, когда водозабор предполагается расположить в долине реки, так как только в этом случае наиболее вероятно обеспечение крупного водоснабжения за счет трещинных вод изверженных пород.

В процессе гидрогеологических исследований для оценки эксплуатационных запасов трещинных грунтовых вод необходимо выяснить:

- 1) глубину залегания кровли изверженных пород, мощность трещиноватой зоны, изменение трещиноватости по вертикали и ее водопроницаемость;
- 2) распространение, мощность и фильтрационные свойства аллювиальных отложений, покрывающих изверженные породы, и характер гидравлической связи подземных вод аллювиальных отложений с трещинными водами кристаллических пород;
- 3) условия связи трещинных грунтовых вод с поверхностными водами и влияние на нее режима поверхностного стока;
- 4) качество трещинных и аллювиальных грунтовых вод;
- 5) расходы реки, ее уровни, качество воды в реке, количество взвешенных наносов;
- 6) расположение участков с повышенной трещиноватостью пород;
- 7) обеспеченность инфильтрационного водозабора в заявленном количестве воды.

Для решения перечисленных выше задач необходимо проведение гидрогеологической съемки, буровых работ, геофизических опытных и гидрогеологических исследований, объем и характер которых определяются степенью изученности территории, сложностью природных условий, стадией исследований и потребным количеством подземных вод для водоснабжения.

Гидрогеологические исследования на стадии поисков заключаются в проведении гидрогеологической съемки масштаба 1:25 000—1:50 000 и обобщении данных по действующим водозаборам, если таковые имеются на территории съемки или вблизи ее границ. Выбор масштаба гидрогеологической съемки зависит от общих природных условий района.

Перед началом гидрогеологической съемки собираются сведения по всем пробуренным на данной территории скважинам, что дает возможность выделить районы, слабо изученные в геологическом и гидрогеологическом отношении.

В долинах рек изверженные породы обычно перекрыты довольно мощной толщей аллювиальных отложений, поэтому целесообразно в комплекс с гидрогеологической съемкой проводить геофизические исследования (электропрофилирование и электротзондирование). Эти работы дают возможность определить мощность аллювиальных отложений и наметить перспективные участки для заложения буровых скважин, чем достигается значительная экономия средств и времени.

Бурение скважин в изверженных породах проводится колонковым способом. Скважины закладываются по поперечникам, идущим перпендикулярно к водотоку. Они углубляются в изверженные породы на глубину, которая определяется мощностью зоны распространения трещиноватости пород. Бурение всех скважин должно сопровождаться комплексом геофизических каротажных работ, которые позволяют выделить более трещиноватые зоны и изучить степень кольматации трещин.

Для изучения степени водообильности трещиноватых пород из всех пробуренных скважин производятся кратковременные пробные откачки, в процессе которых отбираются пробы воды для изучения ее химического состава и бактериологических свойств. Ориентировочно мощность зоны активной трещиноватости пород может быть определена по наблюдениям за выходом керна и потерями промывочной жидкости при бурении.

В период гидрогеологической съемки должны быть организованы наблюдения за режимом подземных вод, что имеет большое значение для оценки их питания

атмосферными осадками. Эти наблюдения необходимо продолжить и на последующих стадиях. Необходимо также организовать работы по изучению режима реки: наблюдения за расходом, уровнями воды, продолжительностью меженного периода, паводка, химического состава и мутности воды в различные периоды года.

При проведении гидрогеологической съемки следует изучить условия взаимосвязи трещинных вод с водами аллювиальных отложений и с поверхностными водами, выявить участки, на которых отсутствуют водоупорные перекрытия и имеется непосредственная связь между трещинными водами изверженных пород, аллювиальными и поверхностными водами.

При оценке эксплуатационных запасов подземных вод в районах проектируемых инфильтрационных водозаборов выяснение характера взаимосвязи подземных и поверхностных вод, учет кольматации и заиления русла реки, изучение гидрологического режима реки, определяющего условия восполнения эксплуатационных запасов подземных вод, являются наиболее актуальными задачами.

Кольматация пород в русле водотока или его заиление оцениваются путем определения фильтрационного сопротивления, отмечаемого в русле реки при разгрузке подземных вод в реку или питания подземных вод поверхностными водами. Методика оценки величины сопротивления по режимным наблюдениям за подземными водами рассмотрена в работе В. М. Шестакова (1965). Наблюдения за режимом подземных вод при изучении кольматации или заиления русла необходимо организовать на таких участках речных долин, где аллювиальные отложения русла характеризуются относительной однородностью и относительно высокой водопроницаемостью.

Наблюдательные скважины (в количестве 3—4) размещаются по створам, расположенным перпендикулярно руслу реки. Расстояние ближайшей к реке скважины должно составлять около 1,0—1,5 мощности водоносного аллювиального горизонта. Самая дальняя от реки скважина закладывается на таком расстоянии, чтобы колебание воды в ней составляло не менее 0,2 амплитуды соответствующих колебаний воды в реке. Расстояние третьей скважины не должно превышать 50—60 м от русла реки. При небольшой ширине реки целесообразно заложить одну наблюдательную скважину вблизи русла на противоположном берегу реки. Для наблюдения за колебанием уровня воды в реке необходимо организовать гидрометрический пост на линии створа.

Из всех наблюдательных скважин проводится откачка для определения фильтрационных свойств водовмещающих пород, а из скважины, расположенной в 50—60 м от береговой линии, необходимо произвести опытную откачку продолжительностью 5—6 суток при понижении на несколько метров для оценки величины фильтрационного сопротивления русловых отложений.

Наблюдения за уровнем воды производятся 5—6 раз в месяц, а при резких колебаниях уровня воды в реке — ежедневно.

При затрудненной гидравлической связи подземных и поверхностных вод большое значение имеет оценка условий и масштабов пополнения запасов трещинных вод из аллювиальных отложений, которые аккумулируют значительные запасы воды при затоплении пойменных террас в паводок. Для этого необходимо при производстве откачек из водоносного горизонта трещиноватых пород, вести наблюдения за изменением уровня воды в аллювиальных отложениях, что дает возможность судить о характере их взаимосвязи.

В этом случае необходимо организовать наблюдения за режимом подземных вод в районе затопления пойменных террас во время паводков. В каждом из створов закладывается по несколько наблюдательных скважин, которые должны располагаться как в затопляемой, так и в незатопляемой части долины. В затопляемой части пойменной террасы необходимо оборудовать не менее двух скважин: одну на расстоянии 20—30 м от уреза реки, а другую в 25—50 м от границы затопления. Затрубную часть всех скважин необходимо затампонировать глиной, чтобы изолировать водоносный горизонт от проникновения поверхностных вод через затрубное пространство. В пределах

незатопляемой части поймы и на надпойменной террасе или на коренном берегу закладывается еще по одной наблюдательной скважине.

Опробование скважин и наблюдение за уровнем воды в них аналогичны предусмотренным при изучении кольматации русла реки.

Если на территории съемки или в ближайших районах от нее имеются водозаборы, использующие трещинные воды изверженных пород, необходимо собрать по ним все имеющиеся сведения (количество эксплуатационных скважин, их дебиты, понижения уровней в процессе эксплуатации водозабора и пр.). Если на водозаборе не организованы систематические наблюдения за режимом подземных вод, необходимо их организовать в соответствии с требованиями, изложенными в главе IX. Эти наблюдения следует продолжать и на последующих стадиях гидрогеологических исследований.

В период предварительной разведки выполняются исследования, целью которых является окончательный выбор наиболее благоприятного участка (или участков) для проведения детальной его разведки под водозабор по схеме, выбранной и согласованной с проектной организацией.

Для выполнения задачи на стадии предварительной разведки продолжают работы, начатые на поисковой стадии: бурение скважин, геофизические, опытные, гидрологические исследования и режимные наблюдения.

Количество закладываемых буровых скважин и расстояния между ними должны быть определены в каждом конкретном случае в зависимости от сложности природных условий. По данным работ, проводимых на стадии предварительной разведки, необходимо уточнить геологическое строение участков и их гидрогеологические условия.

Опытные откачки продолжительностью 2—3 суток проводятся из всех скважин для определения зависимости дебита от понижения и фильтрационных свойств пород. Для изучения изменения водопроницаемости аллювиальных отложений и трещиноватой зоны изверженных пород проводятся каротаж скважин и зональные откачки.

На выбранном в результате предварительной разведки наиболее перспективном участке (или участках) проводится детальная разведка применительно к намеченной схеме водозабора. Она заключается в бурении разведочно-эксплуатационных скважин и их опробовании. Большинство буровых скважин при детальной разведке бурятся таким диаметром, чтобы в дальнейшем их можно было бы использовать как эксплуатационные. Количество разведочно-эксплуатационных скважин определяется тем, что их суммарный дебит должен быть не менее 40—45% дебита проектируемого водозабора. Закладываемые разведочно-эксплуатационные скважины должны находиться вне зоны затопления.

Из всех разведочно-эксплуатационных скважин проводятся опытные и групповые откачки для построения кривых дебита, определения коэффициентов фильтрации и величины срезов во взаимодействующих скважинах, а также отбираются пробы воды для определения их химического состава и санитарно-бактериологического состояния.

При вскрытии скважинами вод с повышенной минерализацией при групповых откачках необходимо вести тщательное наблюдение за изменением минерализации во всех взаимодействующих и наблюдательных скважинах.

Для построения кривых дебита трещинных вод необходимо, чтобы максимальный дебит при опытной откачке составлял 65—70% того дебита, при котором предполагается эксплуатировать скважину.

*Пример.* Для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения одного из городов Украинской ОСР была произведена разведка подземных вод, потребность в которых составляла на 1965 г. 6,4 тыс. м<sup>3</sup>/сутки, на 1970 г. 14,8 тыс. м<sup>3</sup>/сутки и на перспективу 25 тыс. м<sup>3</sup>/сутки (авторы отчета А. Г. Клыков и Ж. П. Жданова).

Район исследований, расположенный в пределах Приднепровской правобережной возвышенности, с севера на юг пересекается долиной реки. По данным наблюдений за режимом реки, проводящимся в 20—25 км выше объекта водоснабжения, расход реки изменяется от 0,05 до 21,7 м<sup>3</sup>/сек; средний многолетний расход реки составляет 0,42 м<sup>3</sup>/сек.

По имеющимся гидрогеологическим картам масштаба 1:200 000— 1 :500 000 под разведку были намечены три участка, расположенные в долине реки (рис. 30).

Район работ приурочен к центральной части Украинского кристаллического массива. Выбранные участки в основном сложены породами кристаллического фундамента и рыхлыми образованиями четвертичного возраста. Отложения мела, палеогена и неогена, вскрываемые скважинами на водораздельных пространствах, в долине реки полностью размыты.

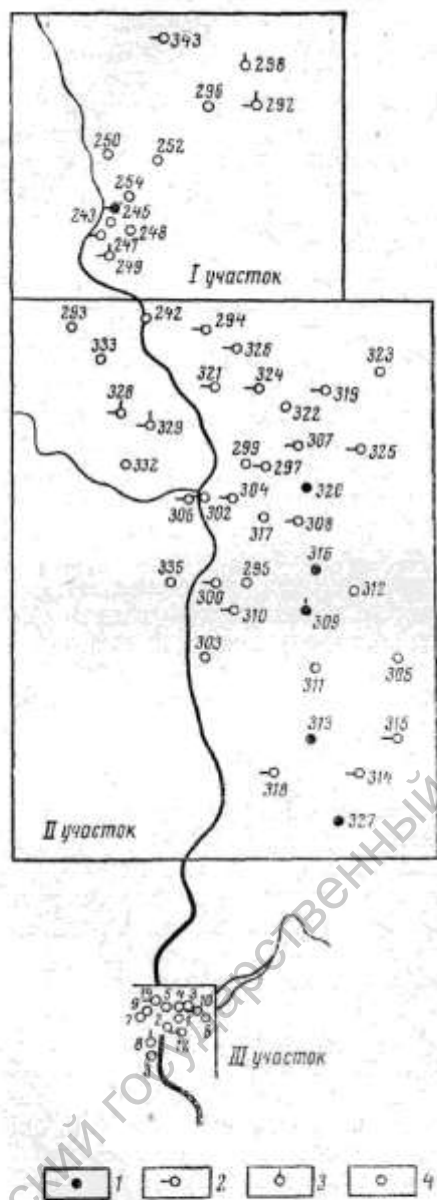


Рис. 30. План расположения скважин, обосновывающих категории запасов  
 1 — скважины, обосновывающие запасы кат. А; 2 — скважины, обосновывающие запасы кат. В; 3 — скважины, обосновывающие запасы кат. С; 4 — скважины, не включенные в подсчет запасов

В гидрогеологическом отношении основное значение имеют водоносные горизонты, приуроченные к трещиноватой зоне кристаллических пород. Аллювиальный водоносный горизонт распространен на всех участках, но практическое значение для централизованного снабжения он не имеет.

Водоносный горизонт, приуроченный к трещиноватым кристаллическим породам, приобретает значение в зоне усиленной трещиноватости, которая приурочена к долине реки, где и расположены все три участка. Участки занимают расстояние около 16 км; границы между ними проведены условно, так как они по существу являются продолжением один другого.

В период работы на каждом участке были выполнены детальные гидрогеологические съемки и составлены карты масштабов 1:20000—1:10000. В пределах района пробурены разведочные, разведочно-эксплуатационные и наблюдательные скважины. Проведены опытные одиночные откачки (одна спаренная и одна групповая пробно-эксплуатационная откачка), наблюдения за режимом подземных вод, значительный объем лабораторных определений химического состава подземных вод и геофизические исследования.

Распределение объема работ по каждому участку приведено в табл. 23.

Водоносный горизонт, приуроченный к трещиноватой зоне кристаллических пород, был вскрыт всеми пробуренными скважинами. Кристаллические породы вскрыты на глубинах от 6—9 до 68 м. Мощность наиболее трещиноватой зоны кристаллических пород, распространенная по отдельным скважинам до глубины 150 м, принята за мощность водоносного горизонта.

Она неравномерная и изменяется от 15 до 100 м и даже 120 м. Горизонт напорный, высота напора над кровлей составляет 8,5—22,5 м. Пьезометрические уровни в скважинах устанавливаются на глубине 26 м ниже и 1,4 м выше поверхности земли. Водоносный горизонт перекрыт слабо проницаемыми продуктами разрушения кристаллических пород мощностью от 6 до 44 м. Эта слабо проницаемая толща не имеет сплошного распространения; она размыта в долинах рек, что обеспечивает связь трещинных вод с вышележащим водоносным горизонтом в аллювиальных отложениях и поверхностными

водами.

Дебиты скважин, использованные при подсчете запасов подземных

Таблица 23

Участки	Площадь участков, км <sup>2</sup>	Количество скважин, пройденных на водоносный горизонт в трещиноватой зоне кристаллических пород			Откачки	
		разведочных	разведочно-эксплуатационных	наблюдательных	опытные	групповые
I	14,7	17	—	—	20	—
II	37,2	36	—	13	50	1
III	1,2	9	4	—	14	1

вод по первому участку, не превышали 2,6—9,0 л/сек при понижении уровня в них на 11,0—13,4 м, по третьему участку 2,6—9,3 л/сек при понижении уровня воды в них на 16,5—20,6 м. При групповой пробно-эксплуатационной откачке из пяти скважин на втором участке (309, 320, 316, 313, 327) расположенных вдоль левого берега реки, на расстоянии 500—1500 м друг от друга и 1200—1600 м от реки, был получен суммарный максимальный дебит, равный 38,8 л/сек (3,36 тыс. м<sup>3</sup>/сутки). Дебиты каждой скважины составили соответственно 6,9; 9,3; 6,2; 7,3 и 9,1 л/сек при понижении уровня воды в них соответственно на 25,3; 16,6; 12,9; 15,4 и 29,3 м. Откачка проводилась при стабильном режиме.

Коэффициенты фильтрации, рассчитанные по данным опытных откачек (по формуле Дюпюи), равны 0,1—6,5 м/сутки. Принятые при расчетах средние их значения составили для первого участка 0,2—2,8 м/сутки; для второго 0,2—6,5 м/сутки и для третьего 0,4—1,2 м/сутки. Наблюдаемая в процессе опытных откачек величина радиуса влияния не превышает 500—600 м.

Для характеристики качества подземных вод проведено большое количество химических анализов, спектральных, на определение микрокомпонентов, радиоактивных элементов и бактериологические анализы.

Воды кристаллических пород по подавляющему большинству разведочных скважин имеют слабую минерализацию с сухим остатком от 350 до 700 мг/л и по всем показателям отвечают требованиям ГОСТа. Лишь отдельные скважины на первом и третьем участках имеют воду повышенной минерализации—от 1200 до 7000 мг/л. Большинство скважин с повышенной минерализацией очень малодобитны и только три скважины третьего участка (10, 11 и 12), содержащие воду с сухим остатком 1200—1500 мг/л, включены в подсчет запасов подземных вод.

Из микрокомпонентов изучались: медь, мышьяк, свинец, цинк и фтор, при этом содержание каждого из них не превышает допустимые концентрации. Исследования на содержание фенолов не производились однако, судя по данным исследования органолептических свойств, фенолы в воде отсутствуют.

Поверхностные воды реки опробованы единичными анализами. По этим данным, вода реки гидрокарбонатно-сульфатная кальциевая с сухим остатком от 450 до 600 мг/л; признаки органического загрязнения незначительны — содержание аммиака не превышает 0,7—1,3 мг/л.

В результате проведенных работ были подсчитаны и представлены на рассмотрение ГКЗ эксплуатационные запасы подземных вод по состоянию на 1 января 1964 г. в следующих количествах (табл. 24).

В основу подсчета запасов подземных вод положены данные по изучению работы существующих водозаборов, а также данные опытных групповых и одиночных откачек, проведенных в процессе гидрогеологических исследований. К кат. А отнесены запасы соответствующие средней фактической производительности разведочно-эксплуатационных скважин и суммарная производительность групповой пробно-

эксплуатационной откачки, к кат. В — запасы, соответствующие суммарной фактической

Таблица 24

Участки	Водоносный горизонт	Запасы по категориям, тыс. м <sup>3</sup> сутки		
		А	В	С <sub>1</sub>
I	Трещиноватая зона кристаллических пород	0,3	2,1	0,6
II	То же	3,3	6,8	1,9
III	" "	—	2,5	0,7
Всего		3,6	11,4	3,2

производительности разведочных скважин, полученной при разновременных опытных откачках, при максимальных понижениях уровней воды в скважинах с учетом их взаимодействия, к кат. С<sub>1</sub> — запасы, рассчитанные по экстраполяции дебитов разведочных скважин на понижения уровней воды в них и в 1,5—2 раза превышающие фактически достигнутые при откачках.

В обоснование подсчета запасов включены следующие скважины (табл. 25).

Таблица 25

Участки	Запасы по категориям, тыс. м <sup>3</sup> сутки		
	А	В	С <sub>1</sub>
I	245	245, 247, 249, 292, 343	249, 292
II	309, 313, 316, 320, 327	294, 297, 300, 302, 304, 306, 307, 308, 310, 314, 315, 318, 319, 321, 324, 325, 326, 328, 329	309, 316, 328, 329
III	—	10, 11, 12, 14, 291	8, 291

Для проверки реальности подсчитанных запасов подземных вод и возможности их ежегодного восполнения, авторами произведен подсчет величины возможного питания водоносного горизонта и общей величины естественных ресурсов подземных вод по трем методам: по величине инфильтрации, по модулю подземного стока; по расчленению гидрографа, т. е. по величине дренируемых рекой подземных вод в пределах исследуемых участков, установленной по увеличению расхода реки в межень между двумя створами.

По последнему методу, данные которого наиболее обоснованы, естественные ресурсы трещинных вод разведанных участков равны 9,8 тыс. м<sup>3</sup>/сутки.

Отчет по проведенным работам был представлен на рассмотрение в ГКЗ. Материалы ГКЗ, по которым приводится данный пример, составлены Н. В. Чечулиной. Рассмотрев их, ГКЗ отметило следующее.

1. Достаточно полно освещены геологическое строение и гидрогеологические условия всего района и участков водозаборов. Недостаточно изучены изменения трещиноватости водовмещающих пород по вертикали, а также мощность, состав и фильтрационные свойства русловых отложений реки, что имеет большое значение для установления взаимосвязи подземных и речных вод.

2. Методика гидрогеологических исследований вызывает существенные замечания. Опытные работы проведены без учета установления взаимосвязи подземных вод с речными, которые по общим условиям являются основным источником восполнения подземных вод.

Опыт существующих водозаборов проанализирован недостаточно, данные по гидрологии реки представлены неполно.

Проведенная групповая опытно-эксплуатационная откачка дает надежные данные для выделения эксплуатационных запасов подземных вод в рассматриваемых сложных гидрогеологических условиях.



3. Стабилизация режима подземных вод при откачках, а также наблюдавшиеся изменения (качества подземных вод во время паводков в скважинах, расположенных вблизи реки, косвенным образом свидетельствуют о наличии непосредственной связи оцениваемого водоносного горизонта с рекой.

4. Качество оцениваемых подземных вод в основном отвечает требованиям ГОСТа к хозяйственно-питьевым водам, за исключением скважин 10, И, 12 на третьем участке, в которых минерализация воды достигает 1,2—1,5 г/л. Существенным упущением исследований является отсутствие анализов на содержание фенолов в воде.

5. В данных условиях авторами правильно принята методика подсчета запасов подземных вод по результатам проведенных опытных работ.

Условия восполнения запасов изучены недостаточно, поэтому из общего их количества, как более достоверные, следует выделить запасы, обеспеченные величиной разгрузки подземных вод в пределах разведанных участков (9,8 тыс. м<sup>3</sup>/сутки). Из них запасы, обоснованные данными эксплуатации скв. 245 и результата пробно-эксплуатационной групповой откачки из пяти скважин, согласно предложению авторов, могут быть отнесены к кат. А, а остальные, рассчитанные по разности — к кат. В. Запасы, соответствующие разности между их общим количеством и запасами кат. А + В, в связи с недостаточной надежностью расчетов их восполнения, соответствуют кат. С<sub>1</sub>.

В рассматриваемых гидрогеологических условиях, когда река является надежным источником восполнения эксплуатационных запасов, к кат. А могут быть отнесены запасы, рассчитанные по фактическим дебитам 50 опытных скважин, относимые авторами к кат. В. Запасы, рассчитанные по экстраполяции дебитов на большие понижения уровней, соответствуют кат. В.

Учитывая все изложенное, ГКЗ постановила:

1. На всех участках пересчитать запасы кат. В по разности между величиной разгрузки подземных вод в долину реки и запасами кат. А и внести соответствующие исправления в величину запасов кат. С<sub>1</sub>.

2. Утвердить балансовые эксплуатационные запасы подземных вод для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения города по разведочным трем участкам, расположенным в долине реки, по состоянию на 1 января 1964 г. в следующих количествах (табл. 26).

3. Считать возможным проектирование и строительство водозабора на запасах категорий А и В. Перевод запасов кат. С<sub>1</sub> в более высокие

Таблица 26

Участки	Водоносный горизонт	Запасы по категориям, тыс. м <sup>3</sup> /сутки		
		А	В	С <sub>1</sub>
Три участка	Трещиноватая зона кристаллических пород	3,6	6,2	8,4

категории в пределах этих участков может быть осуществлен в процессе эксплуатации первой очереди водозабора.

4. Обратить внимание проектирующей организации на необходимость проведения в процессе эксплуатации водозаборов систематических наблюдений за режимом водозабора (дебитами, уровнями), а также систематического контроля за бактериологическим состоянием отбираемых вод и дополнительных исследований подземных вод на содержание в них фенольных соединений.

5. При установлении зон санитарной охраны осуществить санитарно-предупредительные мероприятия, рекомендованные санитарной инспекцией.

#### **ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЗОН ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ**

Подземные воды зон тектонических нарушений представляют особый интерес для водоснабжения в горноскладчатых районах, где отсутствуют выдержанные водоносные горизонты, содержащие значительные эксплуатационные запасы подземных вод. Зачастую в этих районах поверхностные водотоки ввиду маловодности не могут быть использованы как источники водоснабжения. На территории СССР к районам, где используются подземные воды зон тектонических нарушений, относятся как древние сильно пенеппенизированные районы Урала, Центрального Казахстана, частично изкогорья Средней Азии, так и районы более молодого горообразования в пределах интенсивно расчлененного рельефа.

Своеобразие распространения подземных вод в зонах тектонических нарушений горных районов заключается в том что на фоне относительно слабо проницаемых пород развиты локальные месторождения подземных вод. Зачастую подземные воды этих зон практически являются единственным источником водоснабжения.

Опыт работ по поискам и разведке подземных вод показал, что в горных районах могут встретиться локальные обводненные зоны в разнообразных геологических условиях. Выделяются месторождения подземных вод, непосредственно связанные с зонами тектонических нарушений; обводненные зоны в узких полосах карбонатных пород, зажатые в результате орогенических процессов среди слоев практически слабо проницаемых; обводненные зоны, приуроченные к стратиграфическим контактам; периферические участки интрузий, особенно при наличии в последних тектонических контактов. В районах развития жильных полей встречаются обводненные зоны, связанные с внутренней тектоникой интрузивных тел.

Такое генетическое разнообразие месторождений подземных вод в горных районах обязывает гидрогеологов особенно тщательно изучать тектонику, литологию и геологическую историю района, так как эти факторы в значительной мере определяют условия формирования и накопления запасов подземных вод.

В ряде работ по Уралу, Средней Азии рассматриваются условия формирования месторождений подземных вод в зонах тектонических нарушений. Так, на Урале Н. Д. Будановым (1963) выделяется несколько типов зон тектонических разломов, благоприятных для создания запасов пресных вод. Наиболее крупными на Урале являются меридионально вытянутые зоны разломов, представляющие собою целую серию нарушений того же простиранья (например, фронтальная зона складчатых структур западного склона Урала, зоны Восточного Урала на контакте с Западно-Сибирской низменностью и др.).

Эти зоны имеют большей частью ширину порядка нескольких километров и протяженность несколько десятков километров. Как правило, наиболее водообильны участки, сложенные известняками, а также комплексом порфирито-туфогенных пород.

Наряду с меридиональными зонами развиты зоны широтного простиранья, меньшие по ширине и протяженности, заключенные не столько в карбонатных, сколько в различных по литологическому составу комплексах осадочных и вулканогенных пород (к месторождениям такого типа могут быть отнесены Березовское, Кочкарское и др.). Эти месторождения обладают меньшими запасами подземных вод.

Кроме систем меридионально и поперечно вытянутых обводненных зон на Урале отмечаются зоны повышенной водообильности по окраинам серпентинитовых массивов в кремнистых сланцах, мраморах, по контактам габбро-диоритов с диабазами и т. п. (Богомоловская, Высокогорская, Дегтярская, Свердловская и другие зоны).

Для ряда районов Кузнецкого бассейна выделяются слабо обводненные продольные нарушения, имеющие, как правило, надвиговый характер и сопровождающиеся трещинами сжатия, залеченными диабазами (например, надвиг продольного типа в Гурьевском районе), и поперечные нарушения большей частью локальные, имеющие крутое падение, обычно раскрытые и обводненные. К последним приурочены обильные источники, особенно в закарстованных зонах.

Приведенные примеры свидетельствуют о необходимости детального изучения тектонических особенностей районов при поисках подземных вод, приуроченных к зонам нарушений.

Тектонические зоны повышенной обводненности зачастую выявляются по источникам, выходы которых приурочены к контактам проницаемых пород с практически водоупорными их разностями. Величины дебитов родников изменяются в широких пределах (от незначительных до нескольких сотен метров в секунду) в зависимости от размеров тектонической зоны, литологического состава пород и условий питания этих участков.

В ряде работ Н. И. Плотникова (1957, 1959) рассматриваются гидрогеологические особенности эксплуатации подземных вод зон тектонических разломов, где такого типа воды отнесены к месторождениям трещинно-жильных вод.

Отметим наиболее характерные условия залегания месторождений подземных вод, связанных с зонами тектонических нарушений. Как уже было сказано, водоносные горизонты имеют локальное распространение, линейно вытянуты среди поля слабо проницаемых пород. Ширина зон изменяется в пределах от 500 м до 2—3 км, реже достигает 5—6 км (например, Джетыгаринская полоса в скальных осадочно-метаморфических породах достигает участками до 8 км; Исовская зона в Качканарском районе достигает 5—7 км; в районе Салаира — 5—10 км).

Протяженность зон, как правило, 5—8 км, реже — несколько десятков километров (например, протяженность Миасского разлома около 20 км, Гурьевской зоны — свыше 30 км, Копет-Дагской термальной зоны — несколько сотен километров).

Подземные воды тектонических зон заключены в трещинах, трещинно-карстовых пустотах различных комплексов скальных пород. Наибольшей водообильностью отличаются карбонатные, часто закарстованные, породы, водопроницаемость которых обычно составляет 100—500 м<sup>2</sup>/сутки, а на отдельных участках достигает 1000 м<sup>2</sup>/сутки и более. Меньшей водопроницаемостью обладают комплексы интрузивных пород (водопроницаемость их колеблется от 100 до 200 м<sup>2</sup>/сутки, реже 400 м<sup>2</sup>/сутки); водопроницаемость вулканогенно-метаморфических пород в зонах тектонических разломов составляет обычно не более 100—300 м<sup>2</sup>/сутки.

Характеристика водопроницаемости пород тектонических зон является весьма осредненной, так как при опробовании отмечаются довольно резкие отклонения от этих средних значений.

В результате проведения большого объема опытных и разведочных работ установлено, что в водоносных пластах отмечается фильтрационная анизотропия, которая в плане отчетливо проявляется при формировании депрессионных воронок. Как правило, большая ось депрессии проходит вдоль простирания тектонической зоны, а меньшая перпендикулярна к простиранию.

Помимо плановой анизотропии наблюдается уменьшение водопроницаемости и с глубиной. Данные разведочных работ показывают, что при значительных мощностях (порядка нескольких сотен метров) трещиноватых пород в зонах тектонических разломов мощность толщи, обладающей достаточно интенсивной трещиноватостью, составляет в среднем 50—80 м, реже 100 м.

Воды зон тектонических нарушений, как правило, безнапорные и лишь изредка обладают сравнительно небольшим (до 10—15 м) напором, создаваемым чаще всего за счет перекрывающего чехла пород зоны выветривания. В некоторых случаях зоны тектонических разломов приурочены к долинам рек или пересекают последние. При этом тектонические зоны на отдельных участках перекрываются аллювием и тесно связаны с заключенными в них подземными водами. Участки зон тектонических разломов, связанные с реками, как правило, обладают наибольшими запасами подземных вод.

Глубина залегания подземных вод в зонах тектонических нарушений обычно невелика и не превышает 10—15 м от поверхности земли.

Основными источниками питания водоносного горизонта являются атмосферные осадки особенно весенне-зимнего периода, фильтрационные потоки из рек, озер, прудов,

зброшенных карьеров и шахт, боковой приток из относительно малопроницаемых пород, залегающих по бортам раздробленных тектонических зон. В некоторых случаях отмечаются восходящие источники питания, т. е. подпитывание подземных вод подземными водами больших глубин.

Из этой общей характеристики гидрогеологических условий зон тектонических разломов можно сделать вывод, что естественные запасы обычно в таких зонах невелики: это связано со сравнительно малой емкостью пород и естественные ресурсы поэтому являются основным источником формирования эксплуатационных запасов. Если обеспеченность запасов для такого типа месторождений подземных вод определяется условиями питания и восполнения запасов, то в процессе изысканий особенно существенно выявление связи с поверхностными водоемами, определение величины инфильтрации и бокового притока.

## **ВЫБОР РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Расчет эксплуатационных запасов подземных вод в зонах тектонических разломов, учитывая неоднородность фильтрационных свойств пластов как в разрезе, так и в плане, сложное влияние контуров на динамику водозабора целесообразно проводить в основном гидравлическим и балансовым методами (Биндеман, 1963).

При гидравлическом методе путем проведения опытных откачек устанавливается зависимость дебита от понижения и при проведении групповых откачек выявляется характер взаимодействия скважин. Это позволяет оценить величину эксплуатационных запасов участка, прогнозировать величину понижения уровня для проектируемых эксплуатационных дебитов.

Балансовый метод привлекается для оценки обеспеченности восполнения эксплуатационных запасов, что является особенно существенным для этого типа месторождений подземных вод, имеющих ограниченную площадь распространения. При этом для определения величины возможного восполнения подсчитываются суммарные дебиты родников, выясняется характер весеннего подъема уровня по скважинам, определяется приращение расходов в реках на участке, пересекающем тектоническую зону, и используются другие известные методы определения естественного расхода.

Гидродинамические методы применяются для контроля других методов в тех случаях, когда нет уверенности в восполняемости запасов в процессе эксплуатации, где возможен неустановившийся режим подземных вод в процессе эксплуатации водозаборов.

Оценка эксплуатационных запасов требует составления расчетной схемы, которая отвечала бы образованию эксплуатационных запасов в природе. Наиболее характерной расчетной схемой, отвечающей чаще всего условиям распространения подземных вод в зонах тектонических разломов, является пласт-полоса, т. е. схема, когда на работе водозабора сказывается влияние обеих границ потока. В зависимости от характера влияния границ здесь может быть выделено несколько случаев.

1. Значительное различие фильтрационных свойств пород тектонической зоны и бортовых пород (коэффициенты фильтрации отличаются более чем в 50—100 раз); боковой приток можно не принимать во внимание и считать боковые границы практически непроницаемыми. В этих условиях движение будет носить неустановившийся характер; при эксплуатации уровень на границах будет понижаться, скорость понижения уровня будет изменяться по параболической зависимости. Боковой приток, не учитываемый при этом, дает дополнительные эксплуатационные запасы.

2. Развитие пород, обладающих сравнительно хорошей водообильностью в одном борту, а водоупорных — в другом. Расчетная схема при этом представляет собою пласт-полосу с разнородными границами. В этом случае работа водозабора также будет проходить при неустановившемся режиме, но снижение уровней окажется при прочих равных условиях меньше, чем при ограничении водоносной зоны водоупорными породами.

В тех случаях, когда одна из границ пласт-полосы связана с рекой или другим водоемом, где будет иметь место постоянный напор, движение подземных вод в процессе эксплуатации будет носить установившийся характер.

Для правильной постановки работ необходимо составить предварительную расчетную схему, выяснить возможные источники формирования эксплуатационных запасов при заданном размере водопотребности. Это позволит выявить главные задачи поисково-разведочных работ и провести их более целенаправленно. Точность прогнозов может быть существенно повышена при моделировании неустановившейся фильтрации на аналоговых машинах.

### **ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Для оценки эксплуатационных запасов подземных вод в процессе гидрогеологических исследований на различных стадиях изысканий необходимо рассмотреть следующие вопросы:

- 1) геологические особенности строения зоны тектонического разлома;
- 2) характеристику водосодержащей толщи в разрезе и плане (контуры зоны, ее мощность, мощность водонасыщенных пород, изменение трещиноватости и фильтрационных свойств с глубиной и в плане, водоотдачу пород);
- 3) характеристику бортовых пород, окружающих тектонические водообильные зоны (фильтрационные свойства, мощность и т. п.) и характер контактов с этими зонами;
- 4) характер связи подземных вод, содержащихся в породах зоны тектонических разломов, с поверхностными водоемами и другими водоносными горизонтами; режим поверхностных и подземных вод;
- 5) условия питания и разгрузки подземных вод; элементы баланса подземных вод— естественный расход подземных вод, величина инфильтрационного питания.

Эти вопросы решаются полевыми и камеральными исследованиями в комплексе: гидрогеологической съемкой с привлечением геофизических и геоботанических методов; буровыми работами совместно с геофизическими исследованиями в скважинах; гидрометрическими работами и анализом метеорологических данных; проведением опытных гидрогеологических работ и постановкой наблюдений за режимом подземных и поверхностных вод.

### **ЭТАПНОСТЬ РАБОТ, ИХ ОБЪЕМ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ**

Поисковые работы должны выяснить перспективность постановки работ в данном районе для удовлетворения заявленной потребности в воде. Если такие перспективные участки выявлены, то переходят к предварительной разведке, с помощью которой производится выбор наиболее благоприятных участков для размещения водозабора, и представляется обоснование технико-экономической целесообразности эксплуатации подземных вод. Детальная разведка производится уже на выбранных перспективных участках и для подсчета запасов по промышленным категориям.

Анализ материалов ГКЗ показывает, что поиски подземных вод в районах, где развиты месторождения подземных вод, приуроченные к тектоническим зонам, производятся, как правило, со сравнительно большим объемом поисковых и буровых работ. Эти работы могут быть сокращены, если будет произведен сбор и анализ материалов предыдущих исследований. Предварительное знакомство с материалами и с имеющимся опытом работы водозаборов в районе позволит более рационально и экономично определить этапность и объемы работ.

В ряде случаев, особенно для районов, достаточно хорошо изученных в процессе комплексных съемок, стадия поисков может быть снята, и перспективность постановки работ достаточно обоснована определено существующими геологическими и гидрогеологическими материалами.

Стадия поисков проводится в слабо изученных районах, где на основании имеющихся материалов затруднительно сделать вывод о наличии перспективных участков для постановки предварительной разведки. На этом этапе производится общее изучение

гидрогеологии исследуемого района, изучаются все имеющие распространение водоносные горизонты, что в итоге позволит выявить наиболее перспективный горизонт и наиболее водообильные участки. По полученным материалам следует произвести ориентировочные прикидки балансового характера о возможности обеспечения заявленной потребности. Учитывая, что эксплуатационные запасы слагаются для месторождений зон в значительной мере из естественных ресурсов и в меньшей мере из естественных (статических) запасов, необходимо на этой стадии работ представить себе условия питания подземных вод и емкостные возможности пласта (т. е. определить его контуры и водоотдачу).

Работа состоит в сборе и анализе материалов, в проведении гидрогеологической съемки совместно с картировочным бурением, геофизических работ, геоботанических наблюдений \*, наблюдений за режимом поверхностных и подземных вод и сборе гидрометрических и метеорологических данных.

Рассмотрим кратко основное содержание перечисленных выше исследований отметив их специфические особенности при поисках месторождений подземных вод, приуроченных к зонам тектонических разломов.

1. Гидрогеологическая съемка проводится на основе геологической съемки, с привлечением тектонических, структурных и литологических карт. Для описываемого типа месторождений это особенно существенно, так как выявление тектонических зон невозможно без всестороннего геологического изучения района. Масштабы съемки и ее площадь определяются степенью изученности территории и ее сложностью. Опыт работ показывает, что съемки обычно проводятся в масштабе 1 :50 000. При этом должны быть использованы аэрофотоснимки, на которых хорошо оконтуриваются зоны тектонических разломов, и поставлены геоботанические исследования, которые в горных районах являются эффективными индикаторами водообильных зон. По имеющимся материалам определяется площадь съемки с таким расчетом, чтобы она включала площадь объекта, для которого изыскивается источник водоснабжения, и прилегающие к нему перспективные районы. При сравнительно больших (более 50—100 л/сек) потребностях в подземных водах площадь района может быть изучена в радиусе 30—40 км, с включением в нее и предполагаемой области питания, если рассматривать тектоническую зону как региональную дрену.

При изучении материалов по району съемки особое внимание уделяется опыту эксплуатации существующих водозаборов, шахтных водоотливов и т. п.

Важнейшей задачей в процессе съемки является фиксация и описание водопроявлений: родников, поверхностных водотоков (естественных и искусственных), озер, заболоченностей и т. п. При этом наиболее существенным является описание и картирование дебита, химического состава, температуры и положения родников, которые в горных районах являются основным критерием поисков и зачастую позволяют выявить контуры водообильных зон.

При обследовании водоемов фиксируются их уровни, а для рек — изменение расходов на отдельных участках, особенно при входе и выходе из зон тектонических разломов, что позволит наметить створы для проведения гидрометрических работ. При описании источников и водоемов также выбирают точки для организации наблюдений за режимом.

\* Необходимо заметить, что геоботанические работы носят поисковый характер, выполняются в процессе гидрогеологической съемки и предшествуют бурению картировочных скважин.

Учитывая, что съемка проводится в горных районах и преследует во многих случаях поиски подземных вод для водоснабжения поселков у существующих горнорудных предприятий, необходимо документировать участки размещения отвалов, хвостохранилищ, старых шахт и карьеров, отмечая характер водопроявлений, уровень вод, их химический состав и описывая характер отвода хозяйственно-промышленных вод. В

итоге работ составляется гидрогеологическая карта с выделением водоносных комплексов, развитых в районе.

2. Геофизические исследования на этом этапе должны выявить и оконтурить зоны тектонических разломов, охарактеризовать глубину залегания подземных вод, установить скрытые участки разгрузки подземных вод под аллювий в долинах рек. Наиболее эффективными в этих случаях являются электропрофилирование, вертикальное и круговое электрическое зондирование и метод естественных полей фильтрации.

Геофизические работы должны быть проведены до начала основных картировочных буровых работ и дать рекомендации по расположению картировочных скважин. В тех случаях, когда картировочное бурение проводится без учета данных геофизики, оно не дает эффективных результатов. Так, например, при поисках и разведке подземных вод в районе Каменки (Свердловская область) и на месторождении Исти-Су, (Азербайджанская ССР) скважины были заложены без учета геофизических данных и не смогли на первом этапе вскрыть тектонические зоны.

В процессе буровых работ проводится геофизическое опробование скважин с целью выявления в разрезе зон активной трещиноватости, изменения трещиноватости с глубиной, определения действительной скорости течения подземных вод и направления их движения на различных интервалах. В этих случаях применяются различные методы каротажа: резистивиметрия, термометрия, метод заряженного тела и др.

3. Буровые работы в период поисковых работ обычно состоят из бурения картировочных скважин, которые закладываются в процессе гидрогеологической съемки. Местоположение их определяется по данным геологических и геофизических исследований. Скважины, как правило, закладываются на участках выходов наиболее крупных источников, в местах пересечения тектонической зоны речными долинами и на участках, где, по геофизическим данным, ожидается наибольшая трещиноватость.

Вначале пробуривается створ скважин, идущий вдоль водообильной зоны, а затем на участках повышенной проводимости он дополняется несколькими поперечниками вкрест простирания тектонической зоны. Расстояния между скважинами и поперечниками зависят от степени изученности территории и изменчивости литологического состава пород, размера зон. Расстояния между поперечниками задаются обычно порядка 1—2 км; расстояния между скважинами 0,5—1,0 км.

При бурении производится тщательная документация трещиноватости по керну, изучение литологического состава перекрывающих пород и пород самого водоносного горизонта, определяется глубина залегания подземных вод, мощность активной зоны трещиноватости и общая мощность (по единичным скважинам) трещиноватых пород, выясняется мощность и состав перекрывающих и подстилающих водоносный горизонт пород.

В процессе бурения проводятся наблюдения за изменением напоров по вертикали, наблюдения за величиной поглощения промывочной жидкости, наблюдения за процентом выхода керна.

4. Опытные работы состоят в проведении пробных откачек изо всех скважин и одиночных откачек на участках, где были зафиксированы участки повышенной трещиноватости. Пробные откачки служат для предварительной и сравнительной оценки водообильности водоносных толщ, и проводятся при одном максимально возможном понижении уровня продолжительностью 1—2 суток.

Опытные одиночные откачки для определения коэффициента фильтрации проводятся при двух ступенях понижения с максимально возможной разницей между ними, что позволяет установить изменение коэффициента фильтрации с глубиной. Продолжительность откачек на каждую ступень 2—3 суток. В дальнейшем, при использовании этих данных при расчетах, правильнее принимать не среднее, а минимальное значение коэффициента фильтрации. Для получения кривых дебита необходимо проводить откачку при двух-трех ступенях понижения. Однако эта откачка, производится на последующих стадиях работ.

5. Гидрометрические работы на первом этапе заключаются в проведении

гидрометрических наблюдений за изменением скоростей и расходов по долинам рек, в выборе участков размещения гидрометрических постов, что проводится в процессе съемочных работ. Одновременно с этим проводится изучение метеорологических условий, собираются сведения об осадках, расходах и уровнях рек в многолетнем разрезе.

В ряде случаев проводится снегомерная съемка для выяснения величины осенне-зимних осадков, которые в основном определяют величину инфильтрации.

Как на этой стадии работ, так и на последующих существенно выяснить по многолетним данным, на какой по водности год падает период исследований. Это позволит с достаточной обоснованностью оценить полученные данные и сопоставить их с многолетними колебаниями. Не менее важно предостеречь изыскателей от пользования усредненными данными по расходам рек, осадкам и т. п. Для обоснования возможностей пополнения запасов должны быть известны минимальные и максимальные расходы за сравнительно длительный цикл наблюдений.

На последующих стадиях работ, когда установлены перспективные для разведки участки, организуются гидрометрические створы на пересекающих тектонические зоны реках на них организуются стационарные наблюдения за уровнем и изменением расходов. Желательно эти створы совместить со створами наблюдательных скважин.

При наличии прудов, старых карьеров, заполненных водой и других водоемов, которые могут служить источниками восполнения запасов, на них также проводятся гидрометрические наблюдения. Эти наблюдения должны быть особенно тщательными (с большей частотой наблюдений) в период откачек, когда выясняется характер связи подземных и поверхностных вод. По ряду объектов при изысканиях эти наблюдения не производятся. Так, например, при защите отчета в ГКЗ по водоснабжению г. Артемовска не были представлены данные по наблюдениям за расходом р. Бобровки, в связи с чем не было выяснено распространение депрессии к реке.

6. В процессе съемки для наблюдения выбираются наиболее крупные источники подземных вод и картировочные скважины, расположенные в различных гидрогеологических условиях. Наблюдения производятся за изменением дебита (по источникам и самоизливающимся скважинам), уровней, температур и химического состава подземных вод. Эти наблюдения продолжаются и на последующих стадиях работ, когда в наблюдательную сеть подключаются некоторые разведочные скважины. Изучение режима подземных вод позволяет определить естественные ресурсы, которые дают основную долю эксплуатационных подземных вод зон тектонических разломов.

Кроме того, колебания уровня подземных вод позволяют определить величину водоотдачи и инфильтрацию (Биндеман, 1963). Эти величины являются непосредственными расчетными параметрами при оценке эксплуатационных запасов. Как показали наблюдения, изменения дебита источников хорошо коррелируются с величинами атмосферных осадков; на основании этого выявляется многолетний режим колебаний расхода источника, составляется график обеспеченности расхода и величины минимального питания водоносного горизонта.

Наблюдения за режимом источников, уровнями подземных и поверхностных вод в водоемах желательно начинать на первоначальных стадиях изысканий и дополнять их по мере расширения работ. В результате изучения режима необходимо получить сведения об изменениях уровней подземных и поверхностных вод, амплитуд их колебаний, коэффициентов динамичности родников. Частота наблюдений согласовывается с гидрометрическими и метеорологическими наблюдениями. Анализ этих материалов позволит выявить характер связи подземных вод с реками.

По данным поисковых работ проводится общая балансовая проверка возможности получения требуемых эксплуатационных запасов, подсчитывается общий приток воды к зоне и возможность восполнения запасов подземных вод. Если все эти условия благоприятны, переходят к следующей стадии работ.

На стадии предварительной разведки производится окончательный выбор наиболее перспективного участка (или участков) под размещение водозабора, намечается схема



водозабора и подготавливается технико-экономическое обоснование для проведения детальных разведочных работ.

При проведении предварительной разведки в зоне тектонических нарушений основной задачей является выбор наиболее благоприятных участков в этой зоне, т. е. участков с наиболее высокими значениями водопроницаемости и наилучшими условиями восполнения. Для выяснения этих характеристик проводятся разведочные работы по уточнению активной мощности трещиноватых пород, глубины залегания, уклона подземных вод, размеров наиболее проницаемых участков, изучается более основательно химический состав подземных вод, продолжаются режимные наблюдения, уточняются условия взаимосвязи с реками.

Места заложения разведочных скважин выбираются по данным бурения картировочных скважин и геофизическим материалам. Обычно они также располагаются по поперечникам, но по более сгущенной сетке, нежели на первом этапе работ. Расстояния между разведочными скважинами определяются величиной фильтрационной характеристики пород и составляют примерно 800—500 м. При этом достаточно хорошо по одному-двум поперечникам должны быть изучены и относительно слабо проницаемые бортовые породы с тем, чтобы на основании буровых и опытных работ можно было оценить характер границ и необходимость учета бокового питания водоносного горизонта зоны тектонического разлома. В зоне слабо проницаемых пород закладываются скважины на расстоянии нескольких сотен метров друг от друга и от зоны контакта.

Опыт разведки показывает, что глубина разведочных скважин на большинстве месторождений подземных вод такого типа изменяется в интервале от 50 до 80 м, реже достигает 100—120 м.

Опытные работы на этой стадии имеют очень большое значение, так как оценка эксплуатационных запасов производится обычно по их результатам, с применением гидравлических методов. Учитывая также, что в зонах тектонических разломов исследователи сталкиваются с весьма неоднородными фильтрационными свойствами, необходимо запроектировать достаточный объем одиночных и кустовых откачек. Опытные откачки (одиночные и кустовые) проводят на тех местах, где по данным пробных откачек обнаружена сравнительно хорошая водообильность пород.

В связи с изменчивостью фильтрационных свойств трещиноватых в разрезе пород рекомендуется проводить зональные откачки либо в процессе бурения, либо специально после окончания буровых работ. Зональные откачки характеризуют изменения фильтрационных свойств в разрезе, что особенно важно, при фильтрационной неоднородности грунтов. Интервалы для постановки откачки могут быть выявлены по результатам геофизических исследований. Если при проведении нескольких зональных откачек отмечается хорошая корреляция с данными каротажных диаграмм, то число зональных откачек можно несколько сократить и воспользоваться для характеристики фильтрационных свойств результатами геофизического опробования и пробных откачек.

Откачки для получения кривых дебита проводятся для водоносных горизонтов в безнапорных трещиноватых породах при трех понижениях уровня, так как характер кривых позволяет судить об изменении фильтрационных свойств с глубиной. Поэтому откачки для получения кривых дебита следует проводить в основном в период детальных работ и в единичных случаях — на стадии предварительной разведки. Первое понижение в этих случаях выбирается минимальным, но не менее 1 м; третье — максимально возможным (желательно, чтобы оно было близко или превосходило максимальное понижение при эксплуатации).

Опытные откачки приурочивают к межennomу периоду стояния уровня. На стадии предварительной разведки эти работы проводятся одновременно с зональными откачками и резистивиметрией, которые уточняют изменение водонепроницаемости с глубиной.

Для получения более точных значений коэффициентов фильтрации по данным откачек при расчетах следует пользоваться данными измерений уровней по наблюдательным скважинам.

Помимо опытных работ на стадии предварительной разведки для перспективных участков составляются карты гидроизогипс и водопроницаемости в масштабе 1:10000—1:5000; для подсчета запасов уточняются параметры по результатам режимных и опытных работ и величина инфильтрации, приток подземных вод со стороны бортов зоны. На основании этих данных проводятся балансовые и гидравлические подсчеты эксплуатационных запасов, и если они подтверждают возможность восполнения запасов, переходят к стадии детальной разведки.

После составления технико-экономического доклада при получении согласия проектировщиков о выборе участка и схемы водозабора переходят к стадии детальной разведки.

Детальная разведка проводится на выделенных участках размещения водозабора с учетом проектируемой схемы водозабора, с детальностью, обеспечивающей подсчет эксплуатационных запасов по промышленным категориям. При этом уточняются результаты съемки, выполненной в период предварительной разведки, проводятся групповые откачки, бурение разведочно-эксплуатационных скважин.

Кустовые откачки позволяют установить характер взаимодействия скважин друг с другом: они проводятся одновременно из двух или трех скважин с дебитами, которые были достигнуты при одиночных откачках (это позволяет проще установить коэффициент взаимодействия скважин).

Количество групповых откачек определяется сложностью гидрогеологических условий и размерами участка; наблюдательные скважины закладываются по двум лучам, чтобы проследить развитие воронки депрессии. В сложных условиях групповые откачки проводятся на стадии предварительной разведки.

Разведочно-эксплуатационные скважины размещаются согласно схеме проектируемого водозабора в местах, пробуренных ранее поисково-разведочных скважин, результаты работ по которым показали наличие обводненных пород.

Количество разведочно-эксплуатационных скважин определяется в зависимости от дебитов, заданных опытно-эксплуатационной откачкой. При этой откачке суммарный дебит всех одновременно работающих скважин должен составлять не менее 50% эксплуатационного. Кроме разведочно-эксплуатационных скважин, которые располагаются по простиранию зоны дробления на расстояниях порядка 50—10 м друг от друга, разбуриваются по две-три наблюдательные скважины в обе стороны от разведочно-эксплуатационных. Откачка также проводится в меженный период и продолжается в зависимости от сложности гидрогеологических условий участка с продолжительностью от 1,5 до 4—5 месяцев. В более сложных условиях пласт-полосы, когда неясны условия восполнения запасов с бортов зоны, необходимо при откачке оценить влияние боковых границ, что достигается путем увеличения продолжительности проведения откачки. Условно разделяя время откачки на отдельные периоды, необходимо установить характер зависимости понижения от времени на один из периодов, дать прогноз на последующий период откачки и проверить точность прогноза опытным путем.

При повторном сопоставлении прогнозируемого понижения с полученным при откачке следует выявить особенности отклонения реальных понижений от прогнозируемых и дать более обоснованную экстраполяцию дебитов, с учетом влияния границ.

Если проектные дебиты значительно меньше естественных ресурсов, то при проведении опытных работ можно ограничиться опытными групповыми откачками.

В процессе проведения групповой откачки устанавливается зависимость дебита от понижения, скорость снижения уровня и развития депрессионной воронки; определяются величины срезок для выяснения взаимодействия скважин. После прекращения откачки проводятся наблюдения за скоростью восстановления уровней. При контроле гидродинамическими методами определяются коэффициенты фильтрации, уровнепроводность, приведенный радиус влияния.

По полученным параметрам, проводят оценку эксплуатационных запасов гидродинамическим способом, сопоставляют с результатами подсчетов по балансовому и

гидравлическому методам. Для более обоснованного применения балансового метода на этом этапе работ продолжают те же работы, что и на стадии предварительной разведки: режимные и гидрометрические наблюдения за уровнями и расходами в природных условиях и при откачках, геофизическое опробование скважин и т. п.

Выше был изложен полный объем работ по этапам для оценки эксплуатационных запасов при сравнительно большой потребности в подземных водах и необходимости выявить возможности использования подземных вод для крупных объектов в относительно слабо изученных районах. Если район изучен хорошо, нет необходимости в проведении всех трех стадий изысканий, и поиски перспективных водоносных участков проводятся камерально на основании анализа уже имеющихся материалов. Кроме того, в тех случаях, когда по данным первого этапа работ устанавливается, что величина заданной потребности вполне может быть покрыта естественными ресурсами и запасами подземных вод, нет необходимости в выделении предварительной разведки: достаточно выполнить необходимый объем детальной разведки, где особенно важными являются опытно-эксплуатационные продолжительные откачки.

### **ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИИ КАРСТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ**

Среди комплекса растворимых пород наибольшее значение для формирования в них трещинно-карстовых (используемых для водоснабжения) водоносных горизонтов представляет чистые известняки, доломиты и мел. Примесь того или иного количества глинистых частиц ухудшает растворимость карбонатных пород и процессы карстообразования в них получают меньшее распространение. Наименьшей растворимостью из карбонатных пород обладают мел и мергели, однако при наличии мощных толщ мел-мергельных отложений карстовые явления могут получить достаточно широкое развитие.

Формы залегания карстующихся пород оказывают большое влияние на степень, характер, глубину закарстованности и обводненности слагаемого ими массива. Выделяют три основные формации карбонатных пород: платформенную, краевых прогибов и геосинклинальную.

Платформенная формация карбонатных и гипсово-ангидритовых пород характеризуется пологим залеганием, отсутствием следов пликативной дислокации, сравнительно слабым развитием разрывной (глыбовой) тектоники. Поверхность карстующихся пород, будучи прикрыта небольшим слоем рыхлых образований, часто выступает на дневную поверхность и занимает обширные области. В карстовых областях платформенного типа наибольшая трещиноватость и закарстованность пород приурочены, как правило, к долинам рек. Водораздельные участки обладают большей массивностью, а иногда полным отсутствием карстообразований. Типичными областями карбонатных формаций платформенного типа являются: южное и западное крылья Московской синеклизы, сложенные девонскими и нижнекарбовыми известняково-доломитовыми толщами силурийское плато и др.

Формация краевых прогибов отличается формированием мощных слоистых толщ терригенных пород при наличии неслоистых рифогенных известняков, перемежающихся с пачками гипса и каменной соли. Неоднородность литологического состава пород и неравномерная тектоническая нарушенность обуславливают изменчивость фильтрационных свойств. Типичным примером краевого прогиба с наличием карстующихся толщ является Предуральский краевой прогиб.

Карбонатные толщи геосинклинальных областей отличаются большими мощностями, достигающими нескольких тысяч метров, интенсивной перемятостью и сильной трещиноватостью. Карбонатные породы в областях геосинклинального типа локализуются, как правило, в линейно вытянутых узких полосах, согласующихся с общей тектонической структурой горного сооружения. Ширина этих полос часто не превышает 5 км, зато протяженность их достигает сотен километров.

Полосы карбонатных пород, являющиеся, как правило, сильно раскарстованными и наиболее обводненными, перемежаются с другими осадочными или эффузивными породами: алевролитами, сланцами, туфами и другими значительно менее обводненными, а иногда практически водоупорными породами. Большая тектоническая нарушенность и перемятость пластов, осложненная мощными сбросами и надвигами, приводит к интенсивной трещиноватости пород.

Выходы карстующихся пород на дневную поверхность или близко к ней создают своеобразный ландшафт карстовых областей. Наибольшая раскарстованность и трещиноватость приурочены к линиям и зонам тектонических нарушений. Значительная закарстованность береговых склонов рек, пересекающих слои карбонатных пород, характерна и для геосинклинальных областей, но в отличие от платформенных закарстованность междуречных массивов здесь очень велика и нередко поверхностные воды, поглощенные понорами одной реки, выходят по подземному каналу в долину соседней реки (р. Ай на Урале, Западное побережье Кавказа).

Своеобразным характером геологического строения и гидрогеологических условий отличаются месторождения трещинно-карстовых вод, приуроченные к тектоническим мульдам, располагающимся среди мелкосопочника Казахстана. Мульды, как правило, изолированы друг от друга и располагаются среди общего равнинного рельефа с наличием небольших возвышенных гряд, сопок, оконтуривающих мульды и находящиеся внутри них бессточные впадины. В их геологическом строении обычно принимают участие палеозойские туфы, туфопесчаники, кремнистые сланцы, алевролиты и известняки. Пласты этих пород смяты в мелкие складки и слагают периферию мульды. Границы мульды очерчиваются в плане пластами известняков нижнего карбона, часто поставленных на голову и выражающихся в рельефе в виде невысоких гребней. Центральная часть мульды заполнена толщей алевролитов или других слабо водопроницаемых пород. На размытой поверхности палеозойских пород образовалась кора выветривания, а на ней, также с размывом, отложились горизонтальные слои кайнозойских пород. Мощность горизонтально покрывающих пластов достигает иногда 40—50 м. Слои известняков карбона имеют относительно самую высокую трещиноватость и закарстованность.

Общие размеры мульд в пределах кольца карбонатных пород колеблются в больших пределах, но в общем редко превышают 40—50 км в диаметре.

Постоянная циркуляция воды по порам или трещинам растворимых пород является одним из основных условий развития карста. Наибольшую растворяющую силу имеют слабоминерализованные, насыщенные углекислотой воды атмосферных осадков, поступающие с поверхности земли, или воды рек, проникающие по трещинам или понорам в карстующиеся породы. Активные карстовые процессы могут быть также вызваны восходящими глубинными, термальными, углекислыми и другими водами, поступающими по тектоническим разломам.

Возникновение трещиноватости в растворяемых породах резко способствуют общему увеличению их закарстованности. Решающее значение имеют два рода трещин: региональные, более или менее равномерно пронизывающие всю породу, и локальные, резко секущие породы в определенных направлениях лишь в отдельных местах. Если массив карстующихся пород в ходе своего развития оказывался близко от поверхности земли, то помимо расширения существовавших ранее трещин возникают трещины выветривания, совокупность которых в данном случае имеет большое значение для циркуляции подземных вод.

Для платформенных областей среди региональной трещиноватости наибольшее значение получают трещины напластования, что приводит к этажному расположению пещер и отдельных ее гротов. Наличие редкой сети локальных трещин, а также трещин первичной отдельности на платформенных массивах не нарушает этой общей закономерности, хотя и придает ей новые черты и своеобразие. Например, часто развитие эрозионной сети связано с направлением основных локальных трещин. Отдельные этажи карстовых коллекторов соединяются в местах тектонических нарушений вертикальными

ходами.

Описанное выше этажное расположение карстовых коллекторов в платформенных областях связано с развитием эрозионных процессов, а именно — с колебаниями базиса эрозии и зависит как от геологической истории платформы, как и от состава и мощности слагающих ее пород.

Развитие локальной трещиноватости имеет решающее значение в горноскладчатых областях. Здесь направление главных карстовых коллекторов приурочено, как правило, к зонам разломов и к зонам дробления. Вместе с тем значение трещин напластования и взаимосвязь карстовых коллекторов с эрозионными процессами в горных районах в силу больших мощностей пород проявляется еще более активно. Характер же карстовых процессов в горных районах приобретает более сложный и запутанный характер.

Глубина распространения трещиноватости зависит от условий и формы залегания самих пород и всей их геологической истории. В условиях платформы с пологим залеганием растворимых пород последние не испытали крупных вертикальных опусканий и резких тектонических нарушений, а мощность зоны трещиноватости обусловлена в основном процессами выветривания и измеряется, как правило, несколькими десятками метров. В этих случаях на глубине 50—60 м ниже местного базиса эрозии общее количество трещин сокращается, резко уменьшается их раскрытость и ухудшаются фильтрационные свойства пород.

На Уфимском плато, по данным А. Г. Лыкошина (1959), на основании проведенных зонных опробований в долине р. Уфы, в створе Павловской плотины, было установлено, что уменьшение коэффициента фильтрации с глубиной происходит от 90 м/сутки на интервале от 0 до 25 м до 2,5 м/сутки на глубине 55—80 м.

В платформенных условиях на участках, претерпевших относительно мощные тектонические движения, с опусканием части блоков, ранее находившихся на поверхности земли, в условиях длительного континентального режима глубина трещиноватости, а вместе с ней и наличие карстовых полостей наблюдаются подчас на значительных глубинах. Например, по сообщению Е. Г. Шариповой (1956 г.), в пределах Самарской Луки буровыми скважинами встречены обширные, ничем не заполненные карстовые полости на глубинах 500—600 м.

В горноскладчатых районах, по данным Н. Д. Буданова (1963) и Н. И. Плотникова (1959), глубина распространения мощных трещинно-карстовых водотоков прослеживается на глубинах порядка 450—560 м.

Н. А. Огильви (1956) на основании уровней термодинамики доказывает возможность увеличения растворимости горных пород, находящихся в сильно напряженном состоянии в тектонических зонах. Повышение растворимости горных пород под влиянием разности давления, под которым находится в сжатом состоянии скелет породы, и давления, под которым находится вода, циркулирующая в трещинах, может объяснить наличие глубинного карста, залегающего значительно глубже современных и древних базисов эрозии.

Степень трещиноватости и закарстованности пород (степень скважности, по Ф. П. Саваренкому, 1935) варьирует в значительных пределах. Так, по данным О. Б. Скиргелло, (1949), по региональной оценке одного из районов Южного Урала, коэффициент закарстованности пород оказался равным 7%.

Д. В. Рыжиков (1947 г.) для одного из районов Северного Урала определил закарстованность 100-метровой толщи известняков по кернам буровых скважин, равную 12%.

Л. Н. Смирнов (1948) определил коэффициент закарстованности известняков в районе Северо-Уральского бокситоносного района (СУГР), равный 0,7—0,8%.

Основными источниками питания и восполнения трещинно-карстовых вод являются атмосферные осадки, сток поверхностных вод и поступление воды из других водоносных горизонтов, контактирующих с площадью распространения бассейна трещинно-карстовых вод. В отдельных случаях могут играть некоторую роль минеральные и термальные воды, поднимающиеся по трещинам разлома.

Условия поглощения атмосферных осадков зависят от степени обнаженности карстующихся пород их покрытия.

Поверхностные формы карста (воронки и другие отрицательные формы рельефа) поглощают атмосферные осадки и, соединяясь в глубине карстового массива с системой трещин, (карстовых полостей и коллекторов, отводят ее в трещинно-карстовый водоносный горизонт. При наличии открытых понор, колодцев и шахт поверхностные воды поступают в водоносный горизонт непосредственно путем инфильтрации, в связи с чем трещинно-карстовые водоносные горизонты сильно подвержены загрязнению с поверхности.

Поглощение поверхностных водотоков и формирование за счет них трещинно-карстовых горизонтов подземных вод, как известно, представляет собой весьма распространенное явление. Поглощение может происходить как непосредственно из реки в карстовые полости, так и через аллювиальные подрусловые отложения рек, а также за счет ответвлений части поверхностного стока в карстовые каналы, проходящие параллельно основному руслу рек или ниже их эрозионного вреза. Наблюдения над этими явлениями были проведены на р. Уфе А. Г. Лыкошиным (1953), В. С. Лукиным (1962) в долине рек Сылвы и Ирени и др.

Анализируя особенности естественного режима карстовых вод на восточном склоне Урала, Д. В. Рыжиков (1956) приходит к выводу, что в общем балансе источников три главных фактора питания подземных вод карстовых областей распределяются следующим образом: атмосферные осадки на закарстованной площади 60%, потери поверхностного стока 20—25% и приток подземных вод с незакарстованных площадей 15—20%. Автором подчеркивается при этом, что карстовые воды, сформировавшиеся за счет указанных источников, никогда уже не уходят в сторону некарстующихся пород, а разгружаются в пределах самой карстовой области. Этим и объясняется один из самых важных поисковых признаков карстовых вод, состоящий в том, что карстовые воды на всех участках (за исключением участков, связанных с базисами стока) залегают гипсометрически ниже по сравнению с подземными водами некарстующихся или слабо закарстованных пород. Поэтому на границе карстовых областей с некарстовыми образуются перепады в уровнях подземных вод.

Циркуляция трещинно-карстовых вод в одних случаях происходит по отдельным, изолированным друг от друга, карстовым каналам с изолированными областями питания и стока, в других (наиболее распространенных) — в карстующемся массиве с огромным количеством мелких и крупных трещин, где отдельные крупные водотоки соединены между собой и поэтому имеет место единый уровень в потоке подземных вод. Все это указывает на исключительную сложность процессов циркуляции трещинно-карстовых вод в закарстованных массивах и на необходимость строгого их анализа при проведении гидрогеологических исследований.

Основные ресурсы подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения сосредоточены, как известно, в зоне активного водообмена.

Режим трещинно-карстовых водоносных горизонтов отличается исключительно большим разнообразием.

Амплитуда годовых колебаний уровней на разных участках одних и тех же областей и в разных карстовых областях колеблется в очень больших пределах. Так, В. К. Колотильщиков для силурийского плато отмечает четыре группы участков: 1) первую группу с амплитудой до 16 м; 2) вторую группу с амплитудой 5—10 м; 3) третью группу с амплитудой 1—4 м и 4) четвертую группу с амплитудой 0,5—2 м.

Наибольшие значения амплитуды были отмечены М. В. Чуриновым (1959 г.) в Байдарской котловине (Крым) — до 34 м и Н. И. Плотниковым и др. (1957) на Урале — 30—40 м.

Исследователи отмечают четкую зависимость величины амплитуды колебаний уровня трещинно-карстовых вод от степени закарстованности: чем меньше значение величины скважности и закарстованности, тем больше амплитуда колебаний уровня. Режим карстовых родников служит очень характерным показателем зарегулированности и

постоянства карстового водоносного горизонта. На Силурийском плато расходы одиночных родников колеблются в пределах от 0,5 до 100 л/сек. На склонах Пандиверской возвышенности в Эстонской ССР расходы отдельных родников достигают 400—450 л/сек, которые дают начало рекам. Например, родник Симуна с расходом 400 л/сек дает начало р. Педья и т. д.

Степень зарегулированности этих источников неодинакова. Наиболее зарегулированные источники характеризуются коэффициентом динамичности, равным 1,4 наименее зарегулированные из них имеют коэффициент динамичности равный 20.

Описывая режим химического состава карбонатных карстовых вод Южного берега Крыма, В. А. Протасов (1962 г.) констатирует его значительные колебания в течение года. Им подчеркивается также тесная связь режима карстовых вод с атмосферными осадками при общей весьма невысокой минерализации трещинно-карстовых вод карбонатных массивов.

### **ВЫБОР РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ТРЕЩИННО-КАРСТОВЫХ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ**

Оценка эксплуатационных запасов трещинно-карстовых вод должна производиться, как и для других водоносных горизонтов, двумя взаимно проверяющими методами из трех известных групп методов: балансовым, гидравлическим и гидродинамическим.

Балансовые методы дают возможность подсчитать величину питания трещинно-карстового водоносного горизонта в том случае, когда карстовый горизонт получает свое основное питание за счет поглощения поверхностных водотоков, расход которых может быть достаточно точно измерен гидрометрическими методами.

Указанный метод был детально разработан институтом ВОДГЕО и применен при оценке эксплуатационных запасов карстовых вод для водоснабжения одного из городов (Попов и Баранов, 1952). Сущность его заключается в установлении зависимости между расходом водотока, количеством поглощаемой воды и уровнем карстовых вод. Важно определить также пути и величину расходования поглощаемых вод.

В тех районах, где карстовые воды хорошо проявляются в виде выходов отдельных крупных постоянно действующих родников, систематические наблюдения за режимом этих родников и детальный учет приходных элементов водного баланса позволяет установить связь между эксплуатационными запасами карстовых вод и величиной питания. При этом область питания должна быть определена с достаточной точностью в процессе производства гидрогеологической съемки.

В описанных случаях балансовые методы для трещинно-карстовых водоносных горизонтов в большинстве случаев могут являться одним из надежных методов оценки эксплуатационных запасов.

В карстовых районах закрытого типа, где карстовые воды не имеют открытого проявления на поверхности, разгрузка их в речные долины большей частью скрыта в аллювиальных отложениях русла или террас, а восполнение запасов рассредоточено на большой площади области питания. Применение балансового метода сопряжено с необходимостью детального изучения всех элементов водного баланса района в отдельности.

Гидравлические методы, основанные на данных, полученных в процессе опытных откачек, позволяют путем экстраполяции по кривым дебита, с учетом взаимодействия, непосредственно определять производительность водозабора. Особенностью трещинно-карстовых водоносных горизонтов в данном случае является то, что степень трещиноватости и фильтрационные свойства их по вертикали не остаются постоянными. В случае уменьшения трещиноватости с глубиной ее водопроницаемость должна изучаться путем поинтервального опробования.

Для применения гидродинамических методов необходимо усреднение гидрогеологических параметров водоносных пород, что встречается в ряде случаев серьезные затруднения вследствие изменчивости водопроницаемости пород на близких

расстояниях и неопределенности нижней границы обводненной зоны. В связи с этим, расчеты запасов гидродинамическими методами требуют контроля балансовыми расчетами. При оценке запасов гидродинамическими методами точность прогнозов может быть существенно повышена применением моделирования.

Для выбора граничных условий водоносных горизонтов как в разрезе (определение нижней границы пласта или глубины залегания водоупора, правильное представление о характере уровня водоносного горизонта, о границе перехода его из свободного в напорный), так и в плане прежде всего следует изучить, как ограничен карстовый водоносный горизонт в плане. Например, наличие на участке разведки реки или зон тектонических разломов уже дает основание говорить о полуограниченном в плане пласте. Река, протекающая на участке разведки или вблизи его, если ее расход заведомо превышает расход водозабора в течение круглого года, при расчетах в большинстве случаев должна быть принята за контур постоянного напора. В этом случае расчетная схема должна соответствовать полуограниченному в плане пласту с постоянным напором на границе.

Линии тектонического разлома, по которым обычно карстующиеся породы контактируют с породами некарстующимися, в большинстве случаев должны быть приняты за непроницаемые контуры. Если линии тектонического разлома проходят внутри массива карстующихся пород, по своему характеру они могут являться или наиболее водопроницаемой зоной и представлять собою коллектор или оказаться закольматированной, водонепроницаемой зоной. В последнем случае такие зоны иногда делят массив на изолированные друг от друга части и должны приниматься за непроницаемый контур.

В платформенных областях среди трещиноватых карстующихся пород, как правило, формируются водоносные горизонты со свободным местным и региональным стоком, из которых первый направлен к местным рекам, второй — по общему направлению падения пологой структуры к региональному базису эрозии. При этом зоны повышенной закарстованности обычно располагаются вдоль долин местных рек, затухая к водоразделам. В этом случае, если река имеет круглый год обеспеченный расход, расчетная схема для оценки запасов гидродинамическими методами может быть принята как полуограниченный пласт с контуром постоянного напора. При размещении участка в междуречье двух многоводных рек расчетная схема должна соответствовать пласту-полосе, с двумя контурами постоянного напора. Во всех случаях в процессе разведки очень важно изучить степень гидравлической связи трещинно-карстовых вод с реками, а также оценить степень кольматации русел и изоляции их от закарстованных участков.

## **ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Гидрогеологические исследования для целей водоснабжения в карстовых районах должны дать ответы на следующие главные вопросы для подсчета эксплуатационных запасов подземных вод.

1. Состав, геологическая история и границы распространения карстующихся и окружающих их пород в плане и в разрезе.
2. Характер закарстованности пород, изменение ее с глубиной, связь со структурой, тектоникой и геоморфологией
3. Местоположение наиболее раскарстованных зон.
4. Условия питания и разгрузки карстовых вод, общий, водный баланс и, в частности, баланс подземных вод карстовой области в целом или отдельных ее районов.
5. Гидродинамическая характеристика карстующихся пород на различных участках в плане и по глубине их распространения.
6. Качество подземных вод в закарстованных и окружающих их породах.
7. Режим карстовых вод данной области и его связь с режимом подземных вод окружающих районов.

Решение поставленных вопросов требует проведения следующих работ:



- 1) гидрологической съемки с использованием геоботанических и геофизических методов исследований;
- 2) гидрогеологических исследований с постановкой гидрометрических работ на водотоках карстовой области;
- 3) буровых работ, сопутствуемых геофизическими исследованиями;
- 4) опытных и опытно-эксплуатационных работ;
- 5) изучения режима подземных вод карстовой области;
- 6) моделирования в целях уточнения основных гидрогеологических параметров трещинно-карстового водоносного горизонта и окружающих его пород.

Перечисленные здесь виды исследований проводятся, как правило, в три этапа: поиски, предварительная разведка и детальная разведка.

Соблюдение этапности особенно необходимо в районах развития карстовых процессов.

На стадии поисков производится общее освещение гидрогеологии исследуемого района. Все водоносные горизонты изучаются в равной степени в отношении литолого-стратиграфического строения, водообильности, пористости, химического состава и др. Одновременно с этим изучается зона аэрации и другие комплексы, разделяющие водоносные толщи или контактирующие с ними, с целью выяснения их роли в питании, дренировании или изоляции водоносных горизонтов.

Производство перечисленных здесь отдельных видов изысканий для изучения подземных вод в карстовых районах помимо общих черт имеет свои специфические особенности.

Гидрогеологическая съемка для изучения карстовых областей является важнейшим видом гидрогеологических исследований. Масштаб и районы съемки определяются этапам и общими задачами изысканий. В карстовом районе гидрогеологическая съемка должна проводиться в масштабе не мельче 1:50 000, так как картирование карстовых форм в более мелких масштабах не позволит выявить всех особенностей проявления карста.

Площадь исследований выбирается с таким расчетом, чтобы в границы съемки был включен весь бассейн, вся предполагаемая область питания будущего источника водоснабжения. Ею предположительно может являться не только бассейн реки, входящей в район съемки, но и ближайшие водоразделы, так как очень часто в карстовых областях границы поверхностных и подземных водоразделов не совпадают. В карстовых областях водозаборные сооружения следует располагать выше по потоку подземных вод от объекта водоснабжения, поэтому при определении границ съемки это требование также необходимо строго учитывать.

В процессе проработки литературных и фондовых материалов перед началом гидрогеологической съемки в карстовом районе, особое внимание следует обращать на все прямые и косвенные указания о развитии карста: наличие пещер, провальных озер, просадок шоссейных и железных дорог, исчезающих рек, слепых оврагов, малой расчлененности гидрографической сети, резкого изменения расходов рек и родников, провалов бурого снаряда при бурении, быстрого поглощения глинистого раствора и др.

В процессе предварительного ознакомления с материалами особое внимание обращается на изучение действующих водозаборов, шахт и карьеров, забирающих воду из карстовых водоносных горизонтов.

Материалы аэрофотосъемки следует максимально использовать. При проявлении карстовых форм на поверхности материалы аэрофотосъемки позволяют оценить не только сам масштаб карстопроявлений, но и, что особенно важно, проследить основные направления развития карстовых форм, приуроченность их к определенным литологическим и стратиграфическим разностям пород, а также связь их с геоморфологией района и рельефом.

Гидрогеологическая съемка в карстовых районах в значительной мере сводится к картированию и подробному описанию карстовых проявлений на поверхности земли.

Индивидуальный учет и описание карстовых форм на поверхности земли совершенно необходимы как для составления общей картины приуроченности различных форм к

разным геоморфологическим элементам, так и для того, чтобы статистическим методом оценить степень закарстованности пород (А. А. Маккавеев, Н. В. Родионов и др., 1962 г.).

Н. В. Родионов предлагает следующие градации: 1) слабо закарстованные районы — до 20 воронок на 1 км<sup>2</sup>; 2) закарстованные — от 20 до 50 воронок на 1 км<sup>2</sup> и 3) сильно закарстованные — более 50 воронок на 1 км<sup>2</sup>. При использовании этого метода должны обязательно отмечаться размеры и форма карстовых воронок в плане и разрезе, состав пород, обнажающихся в днище и стенках, характер их трещиноватости кавернозности, степень задернованности днищ и боковых склонов, наличие понор, а также приуроченность отдельных форм к различным элементам рельефа.

Нахождению и картированию карстовых провальных воронок и понижений в значительной степени могут способствовать геоботанические методы. Их использование особенно эффективно при исследованиях в степных и полупустынных районах. Наибольший эффект был получен при аэровизуальных маршрутах (В. И. Баранов, 1938 г.; А. А. Гребенщикова, 1939 г.; А. А. Григорьев, 1922 г.; С. В. Виктор, 1955).

Важнейшими элементами гидрогеологической съемки в карстовых районах являются учет и описание, с последующим изучением всех водопоявлений в районе: родников, временных и постоянных водотоков, озер, заболоченностей и др. В процессе описания и картирования родников особенно важно отмечать высотное положение выхода подземных вод как относительно местного базиса эрозии, так и в абсолютных отметках. Подобная двойная привязка позволит увязать выходы родников с наложением гидродинамических зон трещинно-карстовых вод и наметить основные направления потоков карстовых вод, их области разгрузки и питания.

Основные маршруты гидрогеологической съемки, как правило, должны проходить по долинам рек и их притоков с тем, чтобы наиболее четко выявить связь геоморфологии с карстом и роль новейшей тектоники в его развитии.

При обследовании постоянных и временных водотоков обязательно проводятся наблюдения за температурой воды в реках. В плесах измерять температуру надо на разных глубинах и у разных берегов для возможности выявления подводных выходов трещинно-карстовых вод. С этой целью Л. А. Шимановский (1936 г.) особенно рекомендует проведение зимних маршрутов, при которых массовые подводные выходы подземных вод делаются хорошо заметными.

При обследовании рек обязательно измерение их расхода. Это позволит уже в процессе съемки отметить места, где наблюдается уменьшение расхода реки вследствие потерь воды на инфильтрацию в днище или, наоборот, увеличение его за счет выклинивания карстовых вод. В этих местах следует организовать створы для проведения стационарных гидрометрических работ.

Водомерные пункты должны быть намечены и на имеющихся озерах. Систематические наблюдения за уровнем в них позволят определить их связь как с колебаниями уровня трещинно-карстовых вод, так и с метеорологическими факторами.

Описание родников должно сопровождаться измерением их расхода, качества и температуры воды. При этом наиболее важные из них, имеющие значение как источники водоснабжения или как типовые, характеризующие режим трещинно-карстовых вод, должны быть намечены для стационарных наблюдений.

В процессе производства съемки должны быть определены и о контурены основные области питания, транзита и разгрузки трещинно-карстовых вод, поэтому весной необходимо провести специальные работы по изучению весеннего стока, выявлению пунктов поглощения весеннего стока и определению общего объема поглощения. На отдельных участках, типовых для изучаемых регионов, следует поставить снегомерные съемки. Одновременно в областях разгрузки производятся учащенные наблюдения за расходом родников, рек и других объектов.

При изучении пещер важно обратить внимание на основные направления развития карстовых полостей и их взаимоотношение с главными направлениями трещиноватости, на водопоявления в пещерах, на процессы конденсации влаги, просачивания с поверхности земли, на связь подземных и поверхностных карстовых форм, на наличие

озер и транзитных водотоков в пещерах, их областей питания, дальнейших путей следования потоков и разгрузки, на химический состав пещерных вод в различных их проявлениях в разных участках пещеры и др.

Гидрогеологическая съемка в карстовых районах обязательно сопровождается геофизическими и буровыми работами. Это особенно важно в областях закрытого и перекрытого карста.

Геофизические работы в процессе съемки в благоприятной геоэлектрической ситуации позволяют различными методами решить целый ряд вопросов:

- 1) картировать глубину залегания кровли карстующихся пород;
- 2) обнаружить и проследить на местности зоны тектонических разломов и нарушений, по которым циркулируют мощные потоки карстовых вод;
- 3) обнаружить и проследить подземные карстовые полости;
- 4) провести русловые и береговые исследования с целью определения скрытых под аллювием мест разгрузки трещинно-карстовых вод или утечки речных вод в карстовые каналы;
- 5) произвести детальное опробование одиночных скважин с целью: выделения в разрезе скважины зоны активного водообмена, ориентировочного определения скорости фильтрации на разных глубинах и оценки фильтрационной способности пород на отдельных интервалах разреза, определения направления и действительной скорости течения подземных вод, а также степени кавернозности пород на различных глубинах.

Перечисленные вопросы решаются в основном применением следующих методов электроразведки: электропрофилирование, вертикальное электрическое зондирование и его круговые модификации, способ естественных электрических полей фильтрации, а также различные скважинные методы: резистивиметрия, термометрия, метод заряженного тела, кавернометрия и др.

В последние годы в карстовых районах были удачно применены и некоторые другие геофизические методы: сейсморазведка (В. С. Полевой, 1963 г.), радиоволновое просвечивание (А. Д. Фролов, 1963 г.) и высокочастотная разведка (В. К. Хмелевской, 1963 г.).

Бурение картировочных скважин в процессе производства гидрогеологической съемки помимо общих задач, описываемых в методических руководствах по съемке, в карстовых районах имеет свои особые цели. При этом детально изучаются кровля карстующихся пород и глубина ее расположения от поверхности земли, характер закрытости карста и степень защищенности карстовых вод от загрязнения при инфильтрации атмосферных осадков, глубина залегания уровня трещинно-карстовых вод и мощность активной зоны карстующихся пород, а также изменение высоты пьезометрического уровня подземных вод в массиве по мере увеличения глубины.

Для этих целей в процессе бурения производятся детальные наблюдения за величиной поглощения промывочной воды в процессе углубки скважины и отмечаются как интервал поглощения, так и интенсивность его; тщательно отмечаются все наблюдаемые провалы бурового снаряда, замеряется величина провала и характер заполнителя (глина, песок, щебень, доломитовая мука и др.), с обязательным отбором образцов заполнителя; проводится систематическая по мере углубки скважины прокачка с целью поинтервального опробования горизонта на водообильность по разрезу, с отбором проб на химический анализ воды. При наличии в партии тампонов, позволяющих произвести поинтервальное опробование на любой глубине, опробование в процессе бурения можно не производить.

При очень большой мощности карстующихся пород, если в данном районе она неизвестна, целесообразно заложить одну глубокую картировочную скважину, типа структурной, в задачи которой должно входить не только подсечение нижней границы карстующихся пород, но и поинтервальное опробование их откачками или с помощью геофизических методов.

Обработка тернового материала с целью изучения трещиноватости и закарстованности пород проводится обязательно в процессе производства бурения

скважины, так как размеры и количество трещин в керне от долгого соприкосновения с воздухом могут сильно измениться: от пересыхания, зимой — от размораживания. Поэтому в журналах по изучению трещиноватости и закарстованности керна необходимо отмечать дату подъема керна и дату его обработки, а при описании его определять линейный и объемный коэффициенты закарстованности (И. А. Печеркин, 1963 г.), процент выхода керна и степень его сохранности.

Размещение картировочных буровых скважин в процессе съемочных работ производится на основании данных геофизических исследований с обязательным учетом геолого-геоморфологических условий района. Это особенно важно при картировании речных долин и прослеживании зон тектонических разломов и нарушений. Однако в процессе проведения гидрогеологической съемки, как уже указывалось, вся площадь съемки должна быть освещена равномерно с достаточно полным описанием всех комплексов пород. Поэтому большая часть картировочных скважин располагается на геологически закрытых участках.

Объем гидрометрических работ в период проведения поисков обычно ограничивается измерением расходов рек и родников, организацией стационарных гидрометрических створов и производством снегомерных съемок. В этот же период наиболее важные с точки зрения характеристики водоносных горизонтов, картировочные скважины оборудуются для проведения режимных наблюдений.

Дальнейшие разведочные работы в зависимости от заявленной потребности в воде и выявленных на поисковой стадии запасов продолжаются в одном или нескольких перспективных районах.

Предварительная разведка проводится с целью выбора участка (или участков) для расположения водозабора и производства на них в дальнейшем детальной разведки. В карстовых районах, как правило, такие участки становятся известными в результате поисково-съемочных работ. Чаще всего это бывает в тех случаях, когда поисковые работы сопровождаются гидрогеологической съемкой масштаба 1:50 000 или 1:25000; в этих условиях предварительная разведка, как отдельный этап, не выделяется.

Во всех случаях в процессе проведения разведочных работ выявленные при гидрогеологической съемке перспективные по наибольшей обводненности участки должны быть детально изучены и оконтурены с помощью разведочных буровых скважин. В горноскладчатых карстовых районах такие участки обычно приурочены к линиям разломов, часто внешне ничем не обозначенным на местности или отмеченным иногда лишь слабой цепочкой карстовых воронок. В платформенных областях указанные участки чаще всего приурочены к долинам рек, где закарстованность больше, чем на водораздельных участках.

Если на основе поисково-разведочных, картировочных и наблюдательных скважин удастся составить карту гидроизогипс района, то наиболее обводненные участки можно будет проследить на этой карте по наиболее разреженным гидроизогипсам. По картам изоом, составленным по результатам электропрофилирования, также можно проследить участки с высокой фильтрационной способностью закарстованных пород. Эти участки будут простираются вдоль полосы низких сопротивлений.

Перечисленные признаки могут считаться прямыми показателями обводненных участков. На наличие обводненных участков в известняках в карстовых районах могут указывать также бессточные западины, слепые овраги, вообще — участки, расположенные вблизи поверхностных водотоков и водоемов. На перспективных участках целесообразно заложение небольших поперечников, пересекающих речные долины или бессточные понижения и слепые овраги, а также указанные выше долины подземных водотоков, прослеживаемые по картам гидроизогипс или изоом. Многие из пройденных разведочных скважин целесообразно оставить в качестве наблюдательных для кустовых откачек или для производства стационарных наблюдений за режимом трещинно-карстовых вод.

Геофизическими исследованиями в комплексе с бурением разведочных скважин изучается трещиноватость карстующихся пород по вертикали и определяется степень

кольматации трещин и карстовых пустот.

Для трещинно-карстового водоносного горизонта на данном этапе важно также выяснить возможные источники загрязнения карстовых вод, оценить необходимые размеры и расположение зон санитарной охраны и согласовать их с местными санитарными органами и проектными организациями.

В состав полевых гидрологических работ должно входить:

- 1) проведение временных (не менее 2—3 лет) стационарных наблюдений за изменением поверхностного стока всего водосборного бассейна как на отдельных его участках, так и в целом по бассейну, играющему решающую роль в формировании трещинно-карстовых вод района (Л. А. Владимиров, 1963; В. А. Балков, 1963);
- 2) изучение метеорологических условий для данного бассейна реки;
- 3) изучение величины инфильтрации атмосферных осадков и весенних вод на специально оборудованных типовых площадках, на которых в зимнее и весеннее время проводятся снегомерные съемки.

Расположение гидрометрических створов района, изучающих поглощение поверхностных вод и выклинивание подземных вод на отдельных участках реки или ее притоков, должно устанавливаться по данным гидрогеологической съемки.

Особое внимание на стадии предварительной разведки уделяется производству опытных откачек как из одиночных скважин, так и на опытных кустах. На этом этапе должны быть изучены кривые дебита скважин, определена водоотдача пласта, изучены коэффициенты фильтрации и уровнепроводности, ставятся специальные опытные откачки на определение связи с поверхностными водотоками и водоемами.

В разведочных скважинах пробные откачки производятся после предварительных прокачек скважин от шлама и песка. Скважина, имеющая значительную водообильность, опробуется одиночной опытной откачкой. Для карстовых районов надо иметь в виду, что с глубиной часто резко уменьшается закарстованность и трещиноватость пород; при этом в условиях безнапорных вод будет уменьшаться и водообильность скважины. Это особенно характерно для платформенных областей при горизонтальном или очень пологом залегании пластов карстующихся пород. В этих случаях, если при откачке будут сделаны малые понижения, экстраполяции по полученным кривым дебита даст завышенные результаты. Вот почему в карстовых районах понижения при откачках должны быть соизмеримы с мощностью активной зоны, и максимальное понижение должно несколько превосходить возможное понижение уровня при эксплуатации.

Для получения гидравлических характеристик трещинно-карстового водоносного горизонта и для изучения взаимодействия скважин между собой после проведения одиночных опытных откачек производятся групповые откачки.

Проведение групповых откачек и детальное изучение гидравлических характеристик пласта в трещинно-карстовых районах целесообразны для определения восполняемости подземных вод в процессе эксплуатации водозаборов.

Производство опытных кустовых откачек в карстовых районах имеет особенно важное значение для изучения фильтрационной неоднородности, которой характеризуются закарстованные породы. Учитывая исключительную неравномерность в распределении трещин и карстовых полостей, с целью получения наиболее осредненных, а следовательно, и более надежных данных по условиям водопроводимости карстовых массивов А. Г. Лыкошин (1957 г., 1963 г.) рекомендует использовать кустовые откачки для изучения оснований под плотины в таких районах по методу больших депрессий.

Присоединяясь к мнению А. Г. Лыкошина, мы рекомендуем для определения параметров в первую очередь максимально использовать существующие в районе и эксплуатирующиеся в аналогичных условиях карьеры и шахты с уже сформировавшейся депрессионной воронкой, а также эксплуатирующиеся в одинаковых условиях водозаборы трещинно-карстовых вод и др.

Если в процессе проведения съемочных и геофизических работ оси анизотропии закарстованных пород уже выявлены достаточно определенно, то для кустовых откачек лучи наблюдательных скважин правильнее расположить в направлении выявленных осей,

т. е. параллельно и перпендикулярно направлениям наблюдаемой в районе основной трещиноватости.

Задачи кустовых откачек не ограничиваются только изучением фильтрационных свойств закарстованных пород и определением коэффициентов фильтрации их в различных направлениях. Для карстовых районов очень важными являются также следующие вопросы:

- 1) выявление степени взаимосвязи подземных вод с имеющимися поверхностными водоемами — озерами, прудами, реками, водохранилищами;
- 2) изучение водопроницаемости зон тектонических нарушений и степени их кольматации;
- 3) изучение контактов карстующихся пород с вмещающими некарстующимися породами;
- 4) возможность подтока подземных вод смежных водоносных горизонтов с иным химическим составом в процессе эксплуатации трещинно-карстового водоносного горизонта.

Все перечисленные вопросы решаются в процессе производства кустовых опытных откачек путем заложения наблюдательных скважин. Например, для изучения связи с рекой и степени кольматации ее русла одну из наблюдательных скважин, расположенных в створе между рекой и опытной скважиной, лучше заложить на противоположном берегу реки от места расположения опытного куста.

Изучение режима трещинно-карстового водоносного горизонта является важным звеном в общем комплексе исследований для оценки эксплуатационных запасов. К систематическим наблюдениям за режимом карстовых водотоков и родников, а также уровней трещинно-карстовых вод по скважинам следует приступать уже на стадии съемки с тем, чтобы обеспечить возможно большую длительность наблюдений (для карста это важно, так как режим подземных вод может существенно изменяться по годам). По мере бурения поисковых и разведочных скважин они должны включаться в сеть наблюдений.

Следует подчеркнуть, что для карстовых районов наблюдения за режимом родников и уровнями воды в скважинах и поверхностных водоемах не должны ограничиваться только формальными замерами через определенные промежутки времени. Необходимо также в определенные периоды проведение ежедневных, а может быть, и более частых наблюдений по отдельным родникам, скважинам и постам, которые позволят связать их режим с метеорологическими факторами. Например, такие учащенные и «внеурочные» наблюдения надо проводить в периоды снеготаяния, в отдельные дождливые периоды, в период летних ливневых дождей и т. п. В указанные периоды эти наблюдения должны быть комплексными, т. е. должны включать уровни воды и температуру, расходы родников, их химический состав и количество взвешенных веществ в воде, а также количество выпавших за этот период осадков и их химический состав.

Изучение режима трещинно-карстовых вод и сопоставление его с метеорологическими данными помогут ответить не только на ряд непосредственных вопросов, касающихся режима водоносного горизонта (максимальные и минимальные уровни трещинно-карстовых вод и время их наступления, максимальные и минимальные амплитуды колебаний уровня, размещение их по району и приуроченность к определенным условиям, коэффициент динамичности родников и зависимость его от местоположения и приуроченности родников и т. п.), но и решить такие вопросы, как величина коэффициента инфильтрации осадков, коэффициент водоотдачи закарстованных пород, продолжительность периода независимого режима родников и регулирующая роль карста в водном балансе района.

Режим трещинно-карстовых вод изучается в комплексе со всеми другими водоносными горизонтами, смежными с карстующимися породами как по вертикальному разрезу, так и в плане.

Методика изучения фильтрационных свойств закарстованных пород разработана недостаточно, что связано с неравномерной их закарстованностью.

В настоящее время следует смелее внедрять в практику новые методы изучения фильтрационной неоднородности. Это прежде всего относится к устройству фильтрационных опытных узлов и откачек по схемам В. Д. Бабушкина (1954) и В. М. Шестакова (1955).

В 1963—1964 гг. лабораторией МГРИ совместно со вторым гидрогеологическим управлением (И. К. Гавич и Б. В. Боровский) были поставлены опыты по моделированию кустовой откачки на гидроинтеграторе Лукьянова. Опытно-эксплуатационная откачка проводилась на одном из сложных объектов месторождения трещинно-карстовых вод в Казахстане. После того, как были выполнены расчеты коэффициентов фильтрации и вычерчены карты гидроизогипс по данным, полученным при откачке, была построена модель участка и проведено моделирование опытной откачки с целью уточнения полученной фильтрационной характеристики водоносных пород как пласта известняков, так и вмещающих его скальных пород другого генезиса.

Проведенные работы после многих вариантов позволили не только уточнить основные параметры пласта на различных его участках и глубинах, но и на их основе дать прогноз уровня на конец многолетней эксплуатации подземных вод.

В процессе детальной разведки в основном проводится изучение участков водозабора для подсчета эксплуатационных запасов по промышленным категориям. В программу работ детальной разведки месторождения трещинно-карстовых вод должны входить следующие основные виды работ: составление детального плана участка месторождения в границах, полностью охватывающих участок водозабора в масштабе 1 : 5000—1 : 10 000 в зависимости от сложности карстового района; бурение разведочно-эксплуатационных скважин применительно к схеме намеченного водозабора, в точках, ранее изученных разведочными или поисковыми скважинами и показавшими при пробных и опытных откачках наличие сильно обводненной зоны локальной трещиноватости.

Групповая опытно-эксплуатационная откачка проводится из разведочно-эксплуатационных скважин с суммарным дебитом и режимом откачки, близким к эксплуатационному. Должны быть продолжены и другие работы, начатые еще в период поисков: уточнение гидрогеологических параметров, дальнейшее изучение химического состава и др.

Водозаборы трещинно-карстовых вод целесообразно располагать на участках максимальной обводненности. В горноскладчатых районах они, как правило, соответствуют зонам тектонического дробления, к ним приурочивается наибольшая раскарстованность, а иногда и выходы родников. Такие сильно закарстованные зоны являются естественными дренами, подземными коллекторами, собирающими подземные воды с больших площадей. Вот почему на карте гидроизогипс такие участки приурочены к наиболее низким абсолютным отметкам поверхности грунтовых вод. Если в разведочно-эксплуатационной скважине, пройденной на таком участке, при максимальной производительности насоса не было достигнуто максимально допустимое по условиям эксплуатации понижение, то в данной точке, т. е. в непосредственной близости от первой скважины, целесообразно заложить одну-две разведочно-эксплуатационные скважины для производства в них одновременной откачки и получения максимально возможного количества «воды на данном участке».

В карстовых районах, независимо от степени обеспеченности запасов, производительность скважин в первый период может оказаться очень большой (даже создает впечатление ложного благополучия), поэтому опытно-эксплуатационные откачки проводятся достаточно мощными в периоды наиболее низких межженных уровней при отсутствии возможного восполнения от периодически действующих факторов (весенний

### **ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОНУСОВ ВЫНОСА**

Конусы выноса, или «сухие дельты» (по В. Н. Веберу), прослеживаются на огромном протяжении вдоль предгорий Джунгарского Алатау, Киргизского хребта, западных отрогов Тянь-Шаня, Туркестанского хребта, Копет-Дага, в Закавказье и в других районах. Они отлагаются в местах выхода горных потоков на равнину или в межгорную впадину.

Н. И. Плотников (1959) в долинах рек Средней Азии выделяет два типа конусов выноса: 1) внутри долинный, формирующийся в горных условиях на участках резкого расширения речной долины, и 2) периферийный, образование которого происходит при выходе речной долины из горных ущелий в предгорную равнину.

Конусы выноса в зависимости от геолого-структурного положения различаются своими размерами, геологическими, морфологическими и гидрогеологическими особенностями. На различных участках предгорных впадин формируются конусы выноса с различной мощностью рыхлообломочных отложений. При значительных глубинах прогибания образуются конусы выноса с мощностью рыхлых отложений, достигающей 3000 м и более. Отсутствие предгорного прогиба обуславливает образование плоских конусов выноса с мощностью рыхлообломочных отложений, не превышающей 200—300 м. Большинство конусов выноса обычно отчетливо выражено в рельефе, образуя выпуклость над межконусными понижениями высотой 20—50 м и более. В тех случаях, когда конусы выноса образованы выносами рек, расположенными друг возле друга, они сливаются между собой в предгорный шлейф.

Общим для всех конусов выноса является закономерная смена в горизонтальном направлении грубообломочных фракций мелкозернистыми по мере удаления от области сноса. Эта закономерная смена литологического состава конусов выноса обуславливается общей зональностью континентальных отложений межгорных депрессий, подробно рассмотренной в работах В. И. Попова (1950 г., 1951—1956 гг.) на примере Ферганской котловины.

На указанной территории им выделяются следующие фациально-ландшафтные пояса осадков:

- 1) склоновый пояс (коллювиальный);
- 2) подгорно-веерный пояс (пролювиально-равнинный);
- 3) равнинно-долинный (аллювиально-равнинный).

Склоновый пояс расположен в виде маломощного шлейфа на склонах гор и у их подножий. Он сложен осадками, образовавшимися в результате гравитационных процессов на склоне. Два следующих пояса расположены в зоне аккумуляции осадков.

Подгорно-веерный пояс включает отложения конусов выноса, снесенных с гор поперечными к ним потоками. В этом поясе выделяются три фациальные зоны: веерно-обломочная (щебнево-галечная), веерно-мелкозернистая, сложенная преимущественно лёссовыми осадками, и веерно-застойная, на которой широкое развитие получили бессточные понижения. В равнинно-долинный пояс входят осадки, отложенные р. Сыр-Дарьей.

В соответствии с описанной выше зональностью континентальных отложений (на примере конуса выноса р. Сох (рис. 31) в Ферганской котловине) В. А. Гейнцем (1959) выделяется несколько зон, отличающихся по условиям питания, стока и разгрузки подземных вод: 1) зона поглощения поверхностного стока и транзита подземных вод; 2) зона интенсивного выклинивания подземных вод; 3) зона слабого выклинивания грунтовых вод и 4) зона неглубокого залегания грунтовых вод.



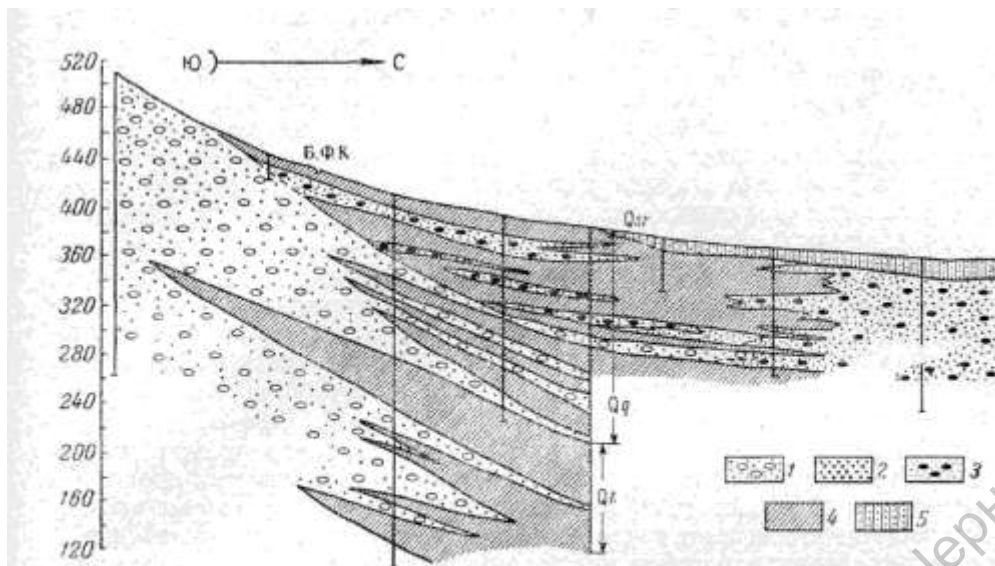


Рис. 31. Продольный геологический разрез конуса выноса р. Сох (по В. А. Гейнцу)  
 1 — галечники; 2 — пески; 3 — пески с гравием и галькой; 4 — суглинки, глины и супеси с линзами песка и галечников; 5 — мелкозернистые пески и супеси с прослоями суглинка. Комплекс четвертичных отложений:  $Q_{sr}$  — сырдарьинский,  $Q_g$  — голодвостепский,  $Q_t$  — ташкентский

Первая зона, расположенная в головной части конуса выноса, сложена толщей галечниковых отложений, которые по мере движения от гор к равнине, на некотором расстоянии от вершины конуса выноса, постепенно замещаются вначале песками, а далее суглинками и глинами (на конусе выноса р. Сох галечниковая зона прослежена приблизительно на 16 км).

В головной части конуса выноса, сложенной галечниками, имеющими большую водопроницаемость, накопление подземных вод происходит за счет инфильтрации воды из речных русел, стекающих с горных склонов, из ирригационной сети, за счет атмосферных осадков, выпадающих на поверхность галечниковой толщи и притока воды из коренных отложений горных склонов. Однако основная роль в питании подземных вод головной части конуса выноса принадлежит интенсивному поглощению поверхностного стока, который движется до уровня подземных вод обычно с неполным заполнением пор грунта. Так, по данным В. Ф. Шлыгиной (1963), в общей величине питания подземных вод конусов выноса Заилийского Алатау инфильтрационные воды составляют: из русел рек 50—60%, из ирригационной сети 10—16%, с орошаемых полей 9—10%, атмосферные осадки 9%, подземный сток со стороны горного массива 8-14%.

По К. Г. Ганиеву, в конусах выноса Шахристанской котловины поверхностный сток ( $5-7 \text{ м}^3/\text{сек}$ ) с Туркестанского хребта полностью расходуется на инфильтрацию и водозабор на поля орошения. Сквозные водные артерии на конусах выноса фиксируются только в период прохождения паводков, в остальное время года русла рек сухие.

Зеркало грунтовых вод в головной части галечниковой толщи залегает на значительных глубинах — в пределах от 20 до 100 м. Ниже головной части конуса выноса, в связи с веерным замещением песчано-галечниковой толщи суглинками и глинами, происходит разделение потока подземных вод по вертикали на ряд водоносных горизонтов.

Водоносные горизонты, содержащиеся в галечниках, постепенно переходят в пески, вклиниваясь в пласты суглинков и глин, приобретают напор. Наибольшим и более постоянным напором и дебитом вследствие малой дренированности обладают глубокие горизонты галечниковой толщи, при этом с увеличением глубины залегания водоносного пласта происходит возрастание абсолютных отметок пьезометрических уровней. В верхних горизонтах обычно наблюдается довольно пестрое распределение напоров подземных вод, что определяется их вертикальной разгрузкой. Напоры снижаются больше там, где происходит интенсивная разгрузка подземных вод.

Подземный поток, накапливающийся в галечниковой толще головной части конуса выноса, радиально растекается к его периферии. Уклоны поверхности грунтовых вод

приближаются к уклонам дневной поверхности, которые в галечниковой зоне обычно около 0,02—0,01, а на периферии 0,001—0,0005.

Развитая на периферии конусов выноса толща покровных суглинков содержит грунтовые воды, поверхность которых является продолжением поверхности потока подземных вод головной части конуса выноса. Дополнительное питание грунтовые воды покровных суглинков получают за счет восходящих потоков из напорных горизонтов песчано-галечниковой толщи. Это питание продолжается до тех пор, пока отметки пьезометрических уровней напорных песчано-галечниковых горизонтов превышают отметки поверхности грунтовых вод.

Как было уже сказано выше, уменьшение водопроницаемости водосодержащих пород по направлению к периферии конусов выноса, происходящее за счет смены галечников песками и появления в песчано-галечниковой толще слабо проницаемых суглинков и глин, вызывает подпор подземных вод. Вследствие этого у нижней границы (головной зоны конуса выноса) подземные воды приближаются к поверхности. В связи с тем, что в периоды усиленного питания грунтовых вод в головной части конуса выноса отток грунтовых вод в периферийную мелкоземистую зону меньше величины питания грунтовых вод в головной части, происходит естественная разгрузка подземных вод на периферии конуса выноса, наиболее интенсивная в верхней части периферии конуса выноса, где покровные суглинки и супеси имеют небольшую мощность. Ширина полосы разгрузки на Сохском конусе выноса достигает 2—4 км. Здесь подземные воды выходят на поверхность в виде многочисленных родников с суммарным расходом в 200—250 л/сек, а на наиболее крупных и водообильных конусах выноса, где выклинивание протягивается вдоль почти всей полуокружности конуса выноса, расход родников достигает 2,0—2,5 м<sup>3</sup>/сек и более. Зеркало грунтовых вод в зоне интенсивного выклинивания располагается обычно на глубине 0,5—1,5 м.

Ниже родниковой зоны идет зона слабого выклинивания подземных вод, ширина которой на Сохском конусе выноса достигает 4—5 км. Здесь разгрузка подземных вод происходит только по глубоко врезанным руслам или искусственным дренам. Зеркало грунтовых вод в зоне слабого выклинивания располагается на глубине 1—2 м.

Некоторое количество грунтовых вод, получившееся за счет естественной разгрузки напорных подземных вод, ввиду неглубокого их залегания расходуется на испарение. Однако величина эта обычно незначительна, так как в зоне слабого выклинивания конусов выноса широко развито орошение, которое затрудняет испарение грунтовых вод.

Ниже зоны слабого выклинивания подземных вод идет зона неглубокого залегания грунтовых вод. Эта зона на конусах выноса, распространенных в пределах Ферганской котловины, смыкается с долиной р. Сыр-Дарьи. В пределах зоны неглубокого залегания грунтовых вод естественные дрены отсутствуют и значительную роль в расходовании грунтовых вод играют процессы испарения и транспирации. На конусах выноса, где имеется искусственное орошение земель, в пределах зоны неглубокого залегания грунтовых вод широко развита искусственная сеть осушительных каналов и коллекторов, которые дренируют грунтовые воды и воды, образующиеся от орошения. В этих условиях роль испарения и транспирации несколько снижается.

Нормально развитая периферия наблюдается не на всех конусах выноса. На некоторых она в той или иной мере бывает размыта. В конусах выноса, образующихся в пределах небольших межгорных впадин, наиболее развитой обычно является верхняя, песчано-галечниковая зона. Поток грунтовых вод, формирующийся в этой зоне, почти полностью разгружается на поверхность в зоне выклинивания подземных вод, которая располагается обычно недалеко от выхода реки из межгорной впадины.

Минерализация грунтовых вод в зоне интенсивного поглощения поверхностного стока незначительна и не превышает 1 г/л. Она характеризуется постоянством как по сезонам, так и в многолетнем разрезе. В зоне интенсивного выклинивания минерализация подземных вод иногда несколько повышается, но все же обычно не превышает 1,5 г/л. Наблюдения, выполненные Ферганской гидрогеологической станцией на Исфаринском конусе выноса, показали, что степень минерализации грунтовых вод в зоне выклинивания

за длительный период не превышала 0,6—0,7 г/л. Причем в составе грунтовых вод зоны интенсивного выклинивания наблюдается увеличение гидрокарбонатного иона и уменьшение хлор-иона, что В. А. Гейнц связывает с вертикальной разгрузкой глубоких напорных вод.

На территориях с неглубоким залеганием грунтовых вод их минерализация достигает 25—50 г/л и более. На краевых участках периферии конусов выноса и в межконусных понижениях наблюдается обычно столь же высокая минерализация. С глубиной степень минерализации снижается. На орошаемых площадях, широко развитых в пределах мелкоземистой пролювиальной равнины конусов выноса, грунтовые воды рассоляются и степень их минерализации находится в пределах 1—3 г/л.

Изменение гидрогеологических условий конусов выноса происходит не только вниз по склону, но и вдоль склона. Наибольшая водопроницаемость свойственна породам, залегающим в осевой части конусов выноса, в периферийных же частях гидрогеологические условия в связи с изменением литологического состава пород в этом направлении ухудшаются. Особенно резкое ухудшение гидрогеологических условий наблюдается на участках между конусами выноса. Здесь наряду с резким изменением литологии наблюдается резкое изменение гидрогеологических условий. Мощная толща обводненных галечников сменяется маломощными водоносными горизонтами, содержащимися в виде прослоев среди лёссовидных суглинков и глин.

По данным Ферганской гидрогеологической станции Узбекского гидрогеологического треста, изучавшей под руководством В. А. Гейнца на конусе выноса р. Сох сезонные и многолетние закономерности формирования режима уровня и минерализации грунтовых и напорных вод и их баланс, в галечниковой зоне головной части конуса выноса формируется мощный поток грунтовых вод со средним расходом  $25 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Поступая в периферийную часть конуса выноса, он постепенно разгружается. Так, в зоне интенсивного выклинивания он разгружается со скоростью в среднем  $13 \text{ м}^3/\text{сек}$ , в зоне слабого выклинивания — со скоростью около  $5 \text{ м}^3/\text{сек}$ , а остальная часть потока (около  $7 \text{ м}^3/\text{сек}$ ) движется в долине р. Сыр-Дарьи. Этот поток грунтовых вод также частично расходуется на испарение и выклинивание в зоне неглубокого залегания грунтовых вод. Гидравлически грунтовые воды с поверхностными водами обычно не связаны. Отсутствие гидравлической связи между грунтовыми водами и рекой в зоне интенсивного поглощения поверхностных вод приводит к тому, что полного хронологического совпадения между кривыми расходов реки и уровнем грунтовых вод не наблюдается (рис. 32)

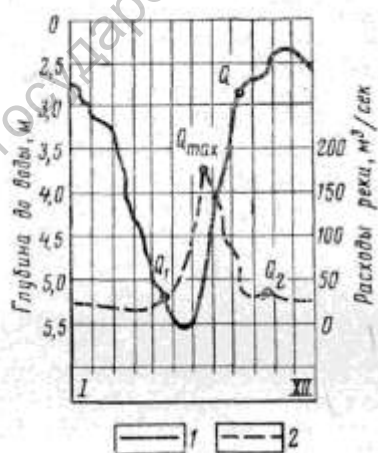


Рис. 32. Сезонные перемещения зеркала грунтовых вод при отсутствии гидродинамической связи между грунтовыми водами и питающими их поверхностными водотоками (по В. А. Гейнцу)  
1 — кривая уровня грунтовых вод по колодезю № 136;  
2 — расход р. Сох

Так, минимальные расходы ( $10—17 \text{ м}^3/\text{сек}$ ) р. Сох имеет с ноября по апрель. В мае за счет талых вод расход начинает возрастать и достигает максимальных величин ( $150—180 \text{ м}^3/\text{сек}$ ) в июле — августе. Максимальное положение уровня грунтовых вод на конусах выноса Средней Азии наблюдается обычно в сентябре—октябре, а минимальное — в мае — июне.

Накопление запасов грунтовых вод и повышение их уровня происходит в период усиленного питания грунтовых вод галечниковой толщи, когда отток подземных вод в

периферийную мелкоземистую зону конуса выноса меньше величины питания грунтовых вод. Понижение же уровня грунтовых вод и сработка их запасов происходит в период, когда питание грунтовых вод меньше их оттока в периферийную зону. В. А. Гейнц (1959) приводит следующие данные по конусу выноса р. Сох. Поглощение поверхностного стока в период усиленного питания грунтовых вод (с июня по сентябрь 1953 г.) составило 472 млн.  $m^3$  (118 млн.  $m^3$  в месяц), а отток из зоны поглощения за этот же период был равен 234 млн.  $m^3$  (58 млн.  $m^3$  в месяц), из которых 163 млн.  $m^3$  перешло в зонах выклинивания в поверхностный сток. Таким образом, в зоне поглощения за этот период осталось 238 млн.  $m^3$  воды. В остальную часть года (с октября 1953 г. по май 1954 г.) питание грунтовых вод составило 336 млн.  $m^3$  (42 млн.  $m^3$  в месяц), а отток подземных вод из зоны поглощения был равен 640 млн.  $m^3$  (80 млн.  $m^3$  в месяц). В этот период происходила сработка накопленных запасов воды.

Кроме сезонной регулировки запасов подземных вод происходящей в головной части конуса выноса, В. А. Гейнцем отмечается и многолетняя регулировка. Она заключается в том, что в годы, когда расходы реки выше средней многолетней величины, происходит накопление запасов грунтовых вод, а сработка их происходит тогда, когда водоносность реки ниже средней многолетней.

Материалы наблюдений за режимом подземных вод на Сохском конусе выноса позволили В. А. Гейнцу сделать общий вывод о том, что формирование сезонного и многолетнего режима напорных вод конусов выноса определяется режимом водоносности поверхностных вод, являющихся основным источником питания подземных вод головной части конусов выноса. Прямого соответствия в режиме водоносности реки и артезианских вод не наблюдается из-за отсутствия гидравлической связи поверхностных вод с подземными водами. Происходит запаздывание в колебании уровня артезианских вод по сравнению с соответствующим колебанием поверхностных вод. Это запаздывание увеличивается с удалением от области питания.

По наблюдениям на Сохском конусе выноса было установлено, что для артезианских скважин, расположенных вблизи к области питания, максимальное понижение пьезометрического уровня и расхода артезианских вод наступает в ноябре — декабре, с запаздыванием на два-три месяца, в более отдаленных скважинах максимум наблюдается в феврале — марте, с запаздыванием на пять-шесть месяцев. В целом для артезианских вод конуса выноса р. Сох наблюдается устойчивая сезонная ритмичность, заключающаяся в повышении пьезометрических уровней и увеличении расходов к зиме и уменьшении их от зимы к осени. Амплитуда колебаний пьезометрических уровней находится в пределах от 0,56 до 2,17 м. В удалении от области питания они уменьшаются. Величина колебаний расходов при дебите скважин 1,1—1,7 л/сек составляет 0,6 л/сек и при расходе скважин 30—60 л/сек — 16—28 л/сек.

Весьма четко режим грунтовых вод в зоне поглощения поверхностного стока отражается на расходах родников зоны выклинивания подземных вод, но срок максимальных расходов наступает позже максимальных уровней грунтовых вод. На Сохском конусе выноса он сдвигается на один месяц.

Естественный ход сезонных колебаний пьезометрических уровней, расходов родников и артезианских вод может нарушаться искусственными факторами: пробуренными вновь эксплуатационными скважинами, орошением земель. В последнем случае наблюдается два максимальных и два минимальных периода расхода эксплуатационных скважин и родников.

## ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Подземные воды пролювиальных отложений конусов выноса наиболее целесообразно использовать несколько выше зоны интенсивного выклинивания. Наблюдения по целому ряду конусов выноса Заилийского Алатау показывают, что здесь имеется значительная водообильность и водоотдача пород. Коэффициенты фильтрации колеблются от 28 до 100 м/сутки, коэффициент водоотдачи 0,2—0,3, удельные дебиты скважин достигают 30—40

л/сек. Выше этой зоны подземные воды залегают на значительных глубинах, а ниже водообильность пород значительно уменьшается.

В вертикальном разрезе максимальной водообильностью характеризуются породы верхней части толщи мощностью 100—150 м. Ниже благодаря некоторому уплотнению и цементации их водообильность снижается.

Нахождение участков с наиболее благоприятными условиями для заложения эксплуатационных скважин является первоочередной задачей гидрогеологических исследований. Эта задача представляется довольно сложной из-за изменений гидрогеологических условий как вниз по склону, так и вдоль склона. Она должна быть решена на стадии поисковых работ и предварительной разведки.

Поисковые работы должны быть начаты со сбора и анализа фондового и опубликованного материала. В настоящее время большое количество конусов выноса Джунгарского Алатау, Киргизского хребта, Туркестанского хребта и других горных районов хорошо изучены и по ряду из них произведен подсчет естественных ресурсов и эксплуатационных запасов подземных вод. На некоторых конусах выноса сооружены и эксплуатируются водозаборы.

Детальное обследование водозаборов и сбор всех необходимых материалов является неприменной задачей работ, проводящихся на поисковой стадии.

В результате анализа работы действующих водозаборов и отдельных скважин должны быть определены основные гидрогеологические параметры.

В слабо изученных районах на стадии поисковых работ проводится гидрогеологическая съемка в масштабе 1:25000—1:100000, сопровождаемая геофизическими исследованиями. Съемкой охватывается вся площадь распространения конуса выноса и прилегающая к нему краевая часть коренных отложений. Гидрогеологической съемкой и геофизическими исследованиями должны быть установлены:

- 1) границы распространения гидрогеологических зон конуса выноса и особенности строения межконусных понижений;
- 2) участки, на которых происходит питание пролювиальных отложений из поверхностных водотоков и оросительных каналов и характер этого питания (происходит ли питание из заиленных русел или имеется непосредственная гидравлическая связь подземных вод с поверхностными);
- 3) площади, на которых галечники непосредственно выходят на поверхность, где происходит питание подземных вод атмосферными осадками;
- 4) характер водоносности коренных отложений и их участие в питании галечниковой толщи конуса выноса;
- 5) дебиты родников в зоне разгрузки водоносных горизонтов и возможность расхода подземных вод за счет испарения.

Зона выклинивания грунтовых вод по периферии конуса выноса легко может быть обнаружена геоботаническим методом. Так, по данным С. В. Викторова и Е. А. Бостоновой (1961), в этой зоне конусов выноса бывают развиты группы тамарисов, заросли тростника и влажные заболоченные лужайки, известные в Туркмении и Казахстане под названием «сазов». Они обычно не окаймляют сплошь периферическую часть конуса выноса, а образуют прерывистую цепочку. С. В. Викторов и Е. А. Востокова предлагают участки этой цепочки соединять линиями, проведенными с учетом рельефа местности, что дает возможность установить границу высачивания грунтовых вод. Это удобно сделать используя аэрофотоснимки, на которых пятнами темного фототона выделяются участки с влаголюбивой растительностью.

На стадии поисков по осевой части конуса выноса, от гор к равнине, иногда оказывается необходимым закладывать поперечник из трех-четырех буровых скважин глубиной 100—200 м. Количество буровых скважин и их глубина зависят от величины конуса выноса и необходимости вскрытия водоносного горизонта по мощности до 100 м. Более глубокие скважины следует закладывать только в том случае, если водообильность пород пройденных горизонтов незначительна.

Из всех пробуренных скважин для предварительной оценки степени водообильности водосодержащих пород производятся пробные зональные откачки. На этой стадии необходимо начать организацию изучения режима подземных вод и балансовых гидрометрических исследований.

В результате поисковых работ должны быть выбраны перспективные участки для проведения на них предварительной разведки.

Изучение гидрогеологических условий глубоких горизонтов конуса выноса и окончательный выбор участка (или участков) для постановки на них детальных разведочных работ требует проведения буровых работ, которые выполняются на стадии предварительной разведки.

Перпендикулярно к поперечнику, заложенному по оси конуса выноса, на участке (или ряде участков), который представляется наиболее благоприятным для заложения водозабора, пробуривается створ из трех или четырех разведочных скважин, равномерно расположенных на участке, с расстояниями между (ними от 400—500 до 1000—2000 м. Глубина скважин должна определяться результатами зональных откачек, а также необходимостью вскрытия наиболее водообильных пород по всей их мощности, или, если водоносность пород в разрезе одинакова, водоносный горизонт следует вскрыть до мощности 100 м. При бурении скважин необходимо изучить состав и мощность всех вскрытых водоносных горизонтов, распределение в них пьезометрических напоров; из всех скважин произвести пробные откачки, а из наиболее водообильных скважин необходимо провести опытные откачки. Во время производства пробных и опытных откачек отбираются пробы воды для химических и санитарно-бактериологических анализов.

На стадии предварительной разведки продолжается изучение режима подземных вод и балансово-гидрометрические исследования, целью которых является определение величины питания подземных вод за счет поверхностных водотоков в пределах галечниковой зоны конуса выноса. Для этой цели производятся систематические измерения расходов поверхностных водотоков и искусственных каналов. Расходы поверхностных водотоков замеряются при их выходе из горных массивов и ниже галечниковой зоны конуса выноса. На этой стадии продолжают режимные наблюдения за расходом выклинивающихся родников.

Наблюдения за колебанием уровня подземных вод конусов выноса имеют большое значение, так как они характеризуются значительными амплитудами колебаний. Наблюдениями необходимо установить положение наиболее низких уровней воды, которые должны приниматься за исходные при расчетах эксплуатационных запасов подземных вод. Сопоставление данных колебания уровня подземных вод и расходов родников с гидрологическими и метеорологическими данными позволит найти коррелятивные связи между ними; это имеет большое значение при оценке эксплуатационных запасов подземных вод.

Наблюдения за режимом подземных вод проводятся на всех пробуренных скважинах. Кроме того, дополнительно в случае необходимости бурятся скважины небольшого диаметра. Данные режимных наблюдений используются также для построения карт гидроизогипс и гидроизопьез и наблюдений за развитием депрессионных воронок в процессе производства опытных откачек.

По материалам, полученным на стадии поисков и предварительной разведки, определяются естественные ресурсы (динамические запасы) подземных вод конуса выноса путем составления общего водного баланса и баланса подземных вод. Дается также предварительная оценка эксплуатационных запасов на разведанном участке (или участках) в основном по низким категориям ( $C_1$  и  $C_2$ ).

По результатам предварительной разведки и оценки запасов подземных вод при сопоставлении с заявленной потребностью в воде решается вопрос, сколько участков или каких размеров один участок, должен быть выделен под детальную разведку. На выбранном участке (или участках) совместно с организацией, проектирующей водозабор, намечается схема водозабора.

Детальные разведочные работы на выбранном участке производятся применительно к предполагаемой схеме размещения водозабора. Предварительными расчетами необходимо определить количество закладываемых разведочно-эксплуатационных скважин, из которых должно быть получено около 50% эксплуатационных запасов подземных вод по кат. А.

В пробуренных скважинах проводятся геофизические исследования для изучения гидрогеологического разреза скважин и изменения фильтрационных свойств пород по вертикали. Из всех скважин проводятся опытные откачки продолжительностью в несколько суток с максимально возможным понижением. Для определения параметров опробуемых водоносных горизонтов организуются два-три куста, состоящих из центральной и наблюдательных скважин.

В том случае, если естественные ресурсы конуса выноса, определенные балансовым методом, меньше заявленной потребности в воде, для определения эксплуатационных запасов подземных вод необходимо провести групповые откачки.

Если балансовыми методами определены естественные ресурсы конуса выноса, соизмеримые с заявленной потребностью в воде, то к кат. А могут быть отнесены запасы подземных вод, основанные на расчетных дебитах опробованных скважин, а к кат. В — запасы не только по экстраполяции в опробованных скважинах, но и по проектируемым скважинам, расположенным между опробованными скважинами, а также по экстраполяции на небольшие расстояния от пробуренных скважин.

### **БАЛАНС ПОДЗЕМНЫХ ВОД КОНУСОВ ВЫНОСА**

Подземные воды конусов выноса в значительной мере формируются непосредственно в пределах площади их распространения. При этом конусы выноса в плане, несмотря на свои значительные размеры, в общем, являются ограниченными «гидрогеологическими структурами». Это дает возможность рассматривать общие ресурсы подземных вод конусов выноса с учетом использования динамических, статистических и других видов запасов, образующихся в них под влиянием разнообразных источников питания.

Основными источниками питания и пополнения ресурсов подземных вод в конусах выноса являются фильтрационные потери поверхностного стока из рек и ирригационной сети. Гораздо меньшее значение имеет приток подземных вод со стороны горного массива и инфильтрации атмосферных осадков. Поступление же поверхностных и подземных вод извне, т. е. из других бассейнов, обычно составляет малую величину и практически его можно не учитывать.

Общие ресурсы подземных вод конусов выноса могут быть определены путем составления общего водного баланса и баланса подземных вод. Оба эти вида баланса тесно связаны между собой и должны рассматриваться неразрывно. Только в этом случае представляется возможным оценить основные факторы, обуславливающие накопление подземных вод в пределах конусов выноса с учетом возможных их изменений во времени.

Основными составляющими общего водного баланса конусов выноса являются.

*В приходной части:*

- 1) поверхностный сток рек из горного массива в пределы конуса выноса, включая сток магистральных оросительных каналов, по которым на территорию конуса выноса подается вода из других бассейнов ( $Q_{р+}$ );
- 2) подземный сток из горного массива в отложения конуса выноса
- 3) атмосферные осадки на площади конуса выноса ( $Q_0^+$ );
- 4) накопление грунтовых вод путем конденсации влаги из атмосферы (конденсационные воды) ( $Q_{к+}$ ).

*В расходной части:*

- 1) поверхностный сток из рек за пределы конуса выноса ( $Q_{р-}$ );
- 2) подземный сток за пределы конуса выноса ( $Q_{п-}$ );
- 3) сток воды по коллекторно-дренажной системе за пределы конуса выноса ( $Q_{др-}$ );
- 4) испарение с открытой водной поверхности ( $Q_{ип-}$ );

5) испарение подземных вод, в том числе испарение с почвы, из зоны аэрации и транспирации влаги растениями ( $Q_{иг-}$ ).

6) использование поверхностных вод для орошения и водоснабжения в современных условиях ( $Q_{рв-}$ );

7) использование подземных вод для орошения и водоснабжения в современных условиях ( $Q_{пв-}$ ).

Таким образом, общий водный баланс конуса выноса может быть представлен таким уравнением (в единицах расхода):

$$Q_{р+} + Q_{п+} + Q_{0+} + Q_{к+} = Q_{р-} + Q_{п-} + Q_{др-} + Q_{ип-} + Q_{иг-} + Q_{рв-} + Q_{пв-} \pm Q_w, \quad (XVII, 1)$$

где символом  $Q_w$  обозначено изменение водных запасов в пределах конуса выноса.

Если пренебречь испарением с водной поверхности ( $Q_{ип-}$ ), размеры которого по сравнению с испарением с почвы и грунтовых вод, включая транспирацию ( $Q_{иг-}$ ), невелики, то величина ( $Q_w$ ) может рассматриваться в качестве показателя изменения запасов подземных вод, обуславливающего колебания их уровня в сезонном и многолетнем разрезе.

Уравнение (XVII, 1) является выражением естественного водного режима и совокупности определенных водохозяйственных мероприятий в пределах конуса выноса.

Суммарные ресурсы подземных вод в конусах выноса  $Q_{сум}$ , как и в других геологических условиях, складываются из динамических ( $Q_d$ ) и статистических ( $Q_{ст}$ ) запасов и «упругой отдачи» воды ( $Q_{упр}$ ) при эксплуатации:

$$Q_{сум} = Q_d + Q_{ст} + Q_{упр} \quad (XVII, 2)$$

В свою очередь динамические запасы здесь, как уже указывалось выше, тесно связаны с поверхностными водными источниками. В общем они могут быть определены следующим образом:

$$Q_d = Q_{ог+} + Q_{к+} + Q_{р+инф} + Q_{взр+} \pm Q_w, \quad (XVII, 3)$$

где  $Q_{ог}$  — часть атмосферных осадков, идущая на фильтрацию и пополнение запасов подземных вод;

$Q_{р+инф}$  — потеря естественного речного стока на фильтрацию на участках, не охваченных орошением;

$Q_{взр}$  - потери воды на фильтрацию из оросительных каналов всех порядков (в том числе на орошаемой площади при поливах и промывках почвы), а также потери сбросных вод после их использования для хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения. Остальные обозначения те же.

При иных водохозяйственных условиях общие ресурсы подземных вод могут измениться в весьма значительных размерах, что необходимо учитывать при прогнозах.

Наиболее существенно может отразиться на общих ресурсах подземных вод рост потребления поверхностных вод на орошение и водоснабжение, т. е. изменение составляющей  $Q_{рв-}$  в уравнении (XVII, 1), в связи с этим другие значения приобретут величины  $Q_{взр}$ ,  $Q_w$  и, естественно, результирующая величина  $Q_{сум}$

Это обстоятельство подтверждает оказанное относительно необходимости при оценке общих ресурсов подземных вод конусов выноса рассматривать водный баланс в целом, с учетом всего комплекса существующих и намечаемых водохозяйственных мероприятий в его пределах.

При определении величин, входящих в уравнение (XVII, 1), используются данные ближайших метеорологических станций, а также результаты гидрометрических наблюдений на открытых водотоках, в магистральных и оросительных каналах и в коллекторно-дренажной сети. Обычно основные элементы водного баланса подробно освещаются в проектах ирригационной системы и в материалах организаций, ведающих ее эксплуатацией. При отсутствии таких материалов следует привлекать данные по другим конусам выноса, находящимся в сходных водохозяйственных и гидрогеологических условиях.

Величины  $Q_{п+}$ ,  $Q_{ст+}$  и  $Q_{упр+}$ , входящие в уравнения (XVII, 1) и (XVII, 2), определяются по результатам соответствующих гидрогеологических работ и расчетов.



Первая из этих величин, характеризующая приток подземных вод в пределы конуса выноса со стороны горного массива ( $Q_{п}^+$ ), как это установлено для ряда районов (Шлыгина, 1964), обычно составляет 8—14% от общего количества подземных вод.

Размеры статистических и упругих запасов ( $Q_{ст}^+$  и  $Q_{упр}^+$ ) могут варьировать в зависимости от мощности и площади распространения водоносных пород и величины напора подземных вод. Интенсивность фильтрации атмосферных осадков ( $Q_{ог}^+$ ), как правило, не превышает 8—10% от общих запасов подземных вод, тогда как пополнение подземных вод фильтрационными водами из рек, оросительных каналов и на поливных участках (в уравнении (XVII, 2) это учтено величиной  $Q_{взр}$ ) происходит в размере 70—85%.

Приближенно величина  $Q_{взр}$  может быть оценена по следующему выражению:

$$Q_{взр} \approx (Q_{по} + Q_{го})(1 - a) \quad (\text{XVII, 4})$$

где  $Q_{по}$  и  $Q_{го}$  — количество поверхностных и подземных вод, используемых на орошение;

$a$  — коэффициент полезного действия оросительной системы, устанавливаемый главным образом в зависимости от типа и конструкции оросительных каналов всех порядков (их размеров, характера одежды и т.д.) и обычно изменяющийся в пределах 0,6—0,8.

Общие ресурсы подземных вод, вычисленные на основе водного баланса по уравнениям (XVII, 1), (XVII, 2) и (XVII, 3), представляют собой в значительной мере теоретическую величину. В реальных условиях полное их использование практически осуществить невозможно. Тем не менее большей частью определение общих ресурсов производить необходимо, так как на их основе устанавливаются возможные масштабы водозабора и по существу оцениваются максимальные размеры эксплуатационных запасов подземных вод.

Дальнейшее уточнение эксплуатационных запасов подземных вод конусов выноса, как и в других гидрогеологических условиях, достигается путем расчета производительности водозабора.

## **РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДОЗАБОРОВ В ПРЕДЕЛАХ КОНУСОВ ВЫНОСА**

### **Схематизация реальных природных условий.**

#### **Размещение водозаборов**

Водоносные отложения конусов выноса можно прежде всего разделить на две части по вертикали: нижнюю, содержащую комплекс высоконапорных водоносных горизонтов, относительно слабо связанных с атмосферой, и верхнюю — безнапорную или слабо напорную, в которой осуществляется активный водообмен с атмосферой и поверхностными водными источниками.

Такое разделение, как уже отмечалось, происходит в нижней трети конусов выноса, при переходе в их равнинную часть, где пролювиальные песчано-галечниковые отложения замещаются глинистыми слоями и вследствие этого создается этажная система водоносных горизонтов. При этом нижние горизонты, изолированные от дневной поверхности глинистыми перекрытиями, обладают напором, величина которого возрастает с углублением и по своей абсолютной величине достигает нескольких десятков, а иногда и сотен метров.

Нижний напорный комплекс имеет весьма широкое распространение и прослеживается по всей равнинной части конусов выноса. Благодаря этому здесь имеется возможность использовать его одиночными или групповыми водозаборными скважинами практически в любом пункте. Количество скважин и схема их размещения определяются в каждом конкретном случае, исходя из проектируемой их производительности гидрогеологических показателей (проводимости и величины напора) водоносных горизонтов.

В верхней безнапорной или слабо напорной водоносной части конусов выноса наиболее благоприятные условия для размещения водозаборных сооружений создаются в зоне выклинивания, где на поверхность выходят многочисленные источники и, таким образом, происходит интенсивный дренаж водоносного горизонта.

В этой зоне водоносные отложения по сравнению с другими частями конуса выноса, как правило, обладают наиболее высокой водопроницаемостью, и эта зона является своего рода замыкающей, так как в ней наиболее полно выражены динамические запасы (естественные ресурсы) подземных вод, формирующиеся в верхнем комплексе на всей остальной площади конуса выноса (а также в пределах горного массива) в результате инфильтрации атмосферных осадков и потерь поверхностного стока из рек и оросительной сети.

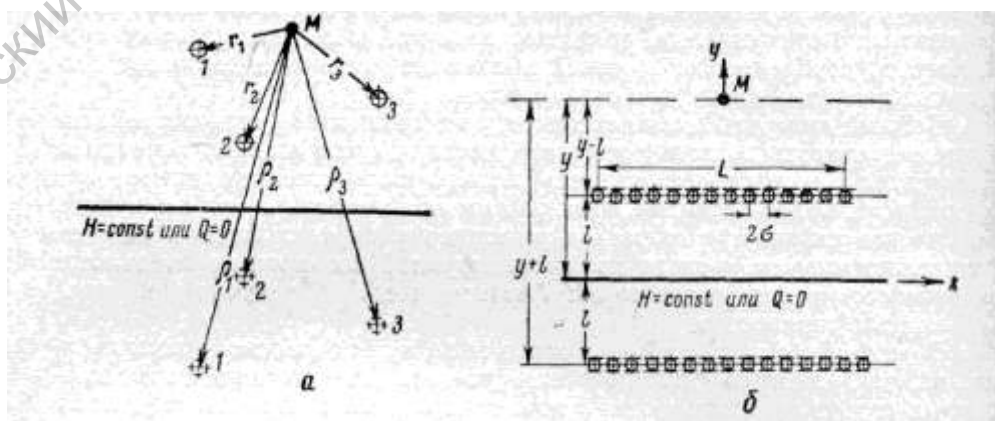
Основным наиболее рациональным типом водозаборов в указанных условиях, как и в нижнем напорном комплексе, следует считать буровые скважины. Размещение и группировка скважин при этом определяются соотношением между дебитом проектируемого водозабора и общими ресурсами подземных вод, оцениваемыми для верхней зоны всего конуса выноса в целом на основании водного баланса.

Если дебит проектируемого водозабора составляет лишь малую долю общих ресурсов, скважины располагаются на локальных участках с наибольшей проводимостью водоносного горизонта, а также вблизи источников, которые могут быть привлечены к водозабору при снижении уровня и образовании депрессии на поверхности подземных вод в процессе эксплуатации.

В случае, когда дебит водозабора соизмерим с общими ресурсами конуса выноса, скважины следует располагать в виде одного-двух линейных рядов или более приблизительно нормально основанному направлению потока подземных вод. Очевидно, что и при таком расположении точки размещения отдельных скважин в пределах рядов должны выбираться с учетом конкретной обстановки. Предпочтение во всех случаях должно отдаваться местам с более высокой водопроницаемостью водоносного горизонта и лучшими условиями восполнения запасов подземных вод.

Количество скважин, их дебит и расстояния между ними определяются гидрогеологическими расчетами для отдельных участков, намеченных под водозаборы.

Для расчета водозаборов в нижнем комплексе напорных водоносных горизонтов конусов выноса, в связи с удаленностью водозаборов от горного массива и большой протяженностью этих горизонтов в равнинной части, обычно можно принимать схему безграничного пласта. Лишь в некоторых случаях, когда напорные водоносные горизонты получают выход в долины крупных рек (например, в Ферганской котловине, где конусы выноса спускаются в долину р. Сыр-Дарьи), а водозаборные скважины располагаются в сравнительно небольшом удалении от них, для расчета можно пользоваться схемой полуограниченного пласта, т. е.



**Рис. 33. Схемы к расчету при неизменяющихся условиях питания**

*a* — одиночные скважины при изменяющихся условиях питания;

*б* — линейный ряд скважин

рассматривать реку в качестве «контура питания» с учетом несовершенства русла, его заиленности и неоднородности русловых осадков.

Методика расчета в обоих случаях аналогична методике, применяемой при оценке производительности водозаборов в крупных артезианских бассейнах (см. главу XII) и долинах рек (Бочеввер, 1961, 1963).

Водоносные горизонты верхнего безнапорного и слабо напорного комплекса конусов выноса для расчета в большинстве случаев можно схематизировать, полагая, что с верховой горной стороны они являются неограниченными, поскольку водозаборные сооружения располагаются, так же как и в нижней напорной зоне, в значительном удалении от вершин конусов выноса.

С низовой стороны граница верхнего водоносного комплекса проводится вдоль зоны выклинивания и замещения песчано-галечниковых отложений глинистыми осадками. Таким образом, водоносные горизонты верхнего комплекса во всех случаях схематически представляются как полуограниченные пласты. При этом в зависимости от намечаемой интенсивности эксплуатации условий питания водоносных горизонтов можно выделить следующие случаи.

1. Полуограниченный пласт при отсутствии дополнительных источников питания, или, точнее, при не изменяющихся условиях питания водоносных горизонтов до и после ввода в действие водозаборных сооружений (рис. 33). В данном случае предполагается, что при наличии в зоне выклинивания источников они будут сохранены и в процессе эксплуатации водозаборов. Это дает основание считать, что вдоль зоны выклинивания имеется «контур питания», на котором понижения уровня не происходит ( $H = \text{const}$ ).

Если зона выклинивания выражена слабо и источники отсутствуют, причем водоносные песчано-галечниковые отложения замещаются мощной толщей практически непроницаемых глинистых пород и не связаны с крупными поверхностными водотоками и водоемами, то для большей надежности расчетов в данной схеме можно с низовой стороны провести непроницаемый контур ( $Q_k = 0$ ).

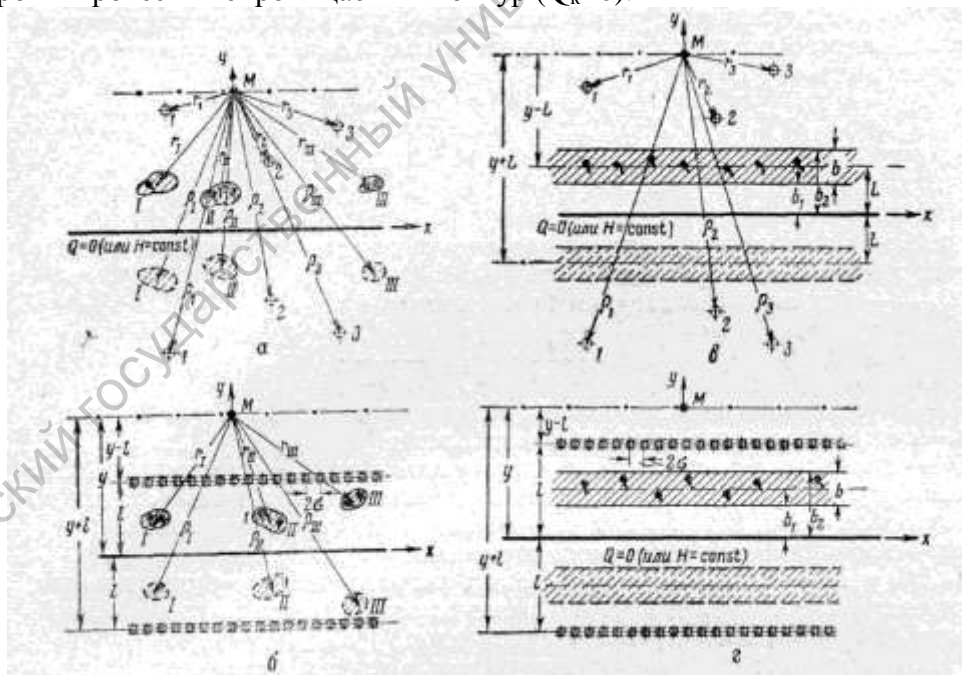


Рис. 34. Схемы к расчету при изменяющихся условиях питания.

**Источники в зоне выклинивания распределяются в виде сплошной полосы**

*а, в* — одиночные скважины и локальные группы взаимодействующих скважин;  
*б, г* — линейный ряд скважин

Водозаборные сооружения в обоих случаях размещаются в виде одиночных скважин или отдельных локальных групп скважин (рис.33, а), а при необходимости более полного использования общих ресурсов подземных вод — в виде линейного ряда скважин (рис. 33,б).

2. Полуограниченный пласт при изменяющихся условиях питания после ввода в

действие водозаборных сооружений (рис. 34). В этой схеме учитывается возможность привлечения части источников подземных вод, выходящих на поверхность в зоне выклинивания. Иными словами, принимается, что в процессе эксплуатации произойдет инверсия источников и они полностью или частично будут «обращены» на питание водоносного горизонта.

При одиночных и локальных групповых водозаборах (рис. 34, а) интенсивность дополнительного питания водоносного горизонта в результате источников будет различной в зависимости от проектируемой производительности отдельных водозаборов и их размещения. В этом случае некоторые наиболее удаленные от водозаборов группы источников могут оказаться вне зоны влияния водозаборов и будут сохранены в процессе их эксплуатации.

При значительной величине проектируемого водоотбора скважины, как и в предыдущей схеме, располагаются линейно (рис. 34, б), и при этом все группы источников оказываются в зоне их влияния.

При постановке граничного условия с низовой стороны в большинстве случаев принимается схема «полузакрытого пласта» с непроницаемым контуром ( $Q_k=0$ ).

3. Та же схема, что и предыдущая. Отличие ее состоит только в том, что источники в зоне выклинивания не разделяются на отдельные группы, а представляются в виде полосы (рис. 34, в, з).

#### Расчетные зависимости

Во всех указанных расчетных схемах для расчета производительности водозаборных сооружений можно пользоваться следующей общей зависимостью:

$$s = \frac{Q_{\text{сум}}}{4\pi km} R, \quad Q_{\text{сум}} = \frac{4\pi km s}{R}, \quad (\text{XVII, 5})$$

$$R = \sum_{i=1}^n \alpha_i (N_0 + N_i) - \sum_{j=1}^m \alpha_j M_j, \quad (\text{XVII, 6})$$

где  $S$  — понижение уровня в любой точке пласта (в удалении от водозаборов или в одном из них);

$Q_{\text{сум}}$  — суммарный расход всех водозаборов;

$$\alpha_i = \frac{Q_i}{Q_{\text{сум}}}; \quad \alpha_j = \frac{Q_j}{Q_{\text{сум}}};$$

$Q_i$  — расход  $i$ -ой скважины или группового водозабора ( $i=1, 2, 3 \dots, n$ ;  $n$ —общее число скважин или водозаборов);

$Q_j$  — суммарный расход группы источников в зоне выклинивания, которые будут «обращены» на питание подземных вод при эксплуатации водозаборов ( $j=1, 2, 3, \dots, m$ ;  $m$  — общее число групп источников);  $km$  — проводимость водоносного горизонта;

$N_0, N_i$  и  $M_j$  — символы безразмерных гидравлических сопротивлений, определяемых в зависимости от схемы пласта, характера граничных условий и намечаемого режима эксплуатации.

При определении понижения уровня в точках, удаленных от водозаборов, величина  $N_0 = 0$ .

При не изменяющихся условиях питания водоносного горизонта величина  $M_j$  равна нулю и в правой части зависимости (XVII, 6) сохраняется только первый член, в котором безразмерные гидравлические сопротивления  $N_0$  и  $N_i$  находятся из следующих формул.

1. Для одиночных и локальных групп взаимодействующих скважин (см. рис. 33, а). При любой продолжительности откачек:

$$N_0 = -Ei\left(-\frac{r_0^2}{4at}\right) + \frac{4at}{r_0^2} \left(1 - I - \frac{r_0^2}{4at}\right) + Ei\left(-\frac{p_0^2}{4at}\right), \quad (\text{XVII, 7})$$

$$N_i = -Ei\left(-\frac{r_i^2}{4at}\right) + Ei\left(-\frac{p_i^2}{4at}\right), \quad (\text{XVII, 8})$$

при длительных откачках ( $t \geq (2,5 \div 5) \frac{r_i \max}{a}$ ):

$$N_0 = 2 \left( \ln \frac{p_0}{r_0} + \frac{1}{2} \right), \quad (\text{XVII, 9})$$

$$N_i = 2 \ln \frac{p_i}{r_i}, \quad (\text{XVII, 10})$$

где  $Ei$ —символ интегральной показательной функции;

$a$  — коэффициент пьезопроводности;

$t$  — время;

$r_i$  и  $c_i$  — расстояния от точки, в которой определяется понижение уровня до действительных скважин (или центров групп водозаборных скважин) и их зеркальных отображений относительно линии выхода источников (см. рис. 33, а).

При расчетах одиночных скважин в формуле (XVII, 7), исключается член, содержащий в скобках показательную функцию, и в формуле (XVII, 8) исключается  $1/2$ .

Формулы (XVII, 9) и (XVII, 10) представляют собой известные формулы Форхгеймера для расчета скважин вблизи водотоков и водоемов, играющих роль совершенных «контуров питания». В рассматриваемых условиях таким «контуром питания» является полоса выходов источников в зоне выклинивания конуса выноса.

2. Для линейного ряда скважин (см. рис. 33, б) при любой продолжительности откачек:

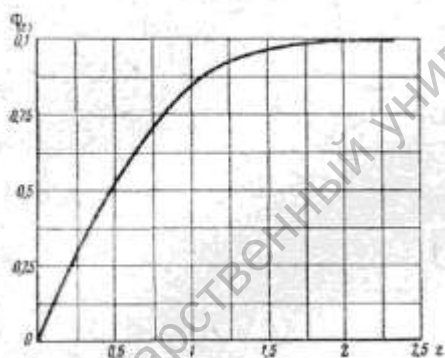


Рис. 35. График функции  $\Phi(z)$

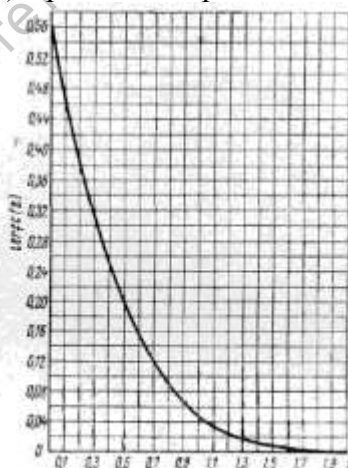


Рис. 36. График функции  $ierfc(z)$

$$N_0 = \frac{2\pi V at}{\sigma} \left( 0,564 - ierfc \frac{l_i}{\sqrt{at}} \right) + 2 \ln \frac{\sigma}{\pi r_0}, \quad (\text{XVII, 11})$$

$$N_i = \frac{2\pi V at}{\sigma} \left( ierfc \frac{(y-l_i)}{2\sqrt{at}} \right) - ierfc \frac{(y+l_i)}{2\sqrt{at}}; \quad (\text{XVII, 12})$$

при длительных откачках ( $t \geq (50 \div 100) \frac{(y+l_i)^2}{a}$ )

$$N_0 = 2 \left( \frac{\pi l_i}{\sigma} + \ln \frac{\sigma}{\pi r_0} \right), \quad (\text{XVII, 13})$$

$$N_i = \frac{2\pi y}{\sigma} \text{ (при } y \leq l_i) \text{ и } N_i = \frac{2\pi l_i}{\sigma} \text{ (при } y > l_i). \quad (\text{XVII, 14})$$

В приведенных выражениях  $y$  — координата линии водозабора;

$\sigma$  — половина расстояния между скважинами;  $ierfc(z) = \frac{1-e^{-z^2}}{\sqrt{\pi}} - z ierfc(z)$ ;

$ierfc(z) = 1 - \Phi(z)$ , а  $\Phi_z$  — функция ошибок (интеграл вероятности).

Функции  $\Phi(z)$  и  $ierfc(z)$  представлены в виде графиков на рис. 35 и 36.

Формулы (XVII, 12) и (XVII, 14) могут применяться при размещении скважин в виде

одного, двух и более линейных рядов на расстояниях  $l_1, l_2, \dots, l_n$  от выходов источников.

Все приведенные формулы действительны для условия  $H=const$ , т. е. когда на низовой границе конуса выноса допустимо принимать предпосылку о постоянстве напора подземных вод. Такая предпосылка выдерживается, если проектируемый расход водозаборов существенно меньше общих динамических запасов подземных вод конуса выноса и, в частности, меньше запасов, дренируемых в зоне выклинивания. При отсутствии выходов подземных вод в зоне выклинивания расчеты должны производиться при условии  $Q = 0$  на низовой границе.

При этом основные формулы будут иметь следующий вид.

1. Для одиночных и локальных групп взаимодействующих скважин (см. рис. 33, а) при любой продолжительности откачек:

$$N_0 = -Ei\left(-\frac{r_0^2}{4at}\right) + \frac{4at}{r_0^2} \left(1 - I^{-\frac{r_0^2}{4at}}\right) - Ei\left(-\frac{\rho_0^2}{4at}\right), \quad (\text{XVII, 15})$$

$$N_i = -Ei\left(-\frac{r_i^2}{4at}\right) - Ei\left(-\frac{\rho_i^2}{4at}\right); \quad (\text{XVII, 16})$$

при длительных откачках ( $t \geq (2,5 \div 5) \frac{\rho_i^2 \max}{a}$ ):

$$N_0 = 2 \ln \frac{2,25at}{r_0 \rho_0}, \quad (\text{XVII, 17})$$

$$N_i = 2 \ln \frac{2,25at}{r_i \rho_i}. \quad (\text{XVII, 18})$$

2. Для линейного ряда скважин (см. рис. 33, б) при любой продолжительности откачек:

$$N_0 = \frac{2\pi V \sqrt{at}}{\sigma} \left(0,564 + ierfc \frac{l_1}{\sqrt{at}}\right) + 2 \ln \frac{\sigma}{\pi r_0}, \quad (\text{XVII, 19})$$

$$N_i = \frac{2\pi V \sqrt{at}}{\sigma} \left(ierfc \frac{(y-l_i)}{2\sqrt{at}} + ierfc \frac{(y+l_i)}{2\sqrt{at}}\right); \quad (\text{XVII, 20})$$

при длительных откачках ( $t \geq (50 \div 100) \frac{(y+l_i)^2}{a}$ ):

$$N_0 = \frac{4\sqrt{\pi at}}{\sigma} + 2 \ln \frac{\sigma}{\pi r_0}, \quad (\text{XVII, 21})$$

$$N_i = \frac{4\sqrt{\pi at}}{\sigma}. \quad (\text{XVII, 22})$$

Обозначения те же.

Из сравнения формул (XVII, 9) — (XVII, 10) и (XVII, 13) — (XVII, 14) с формулами (XVII, 17) — (XVII, 18) и (XVII, 21) — (XVII, 22) видно, что величины  $N_0$  и  $N_i$  и соответственно понижения уровня в первом случае, т. е. при постановке на низовой границе конуса выноса условия  $H=const$  стремятся к постоянной величине, а во втором случае при условии  $Q = 0$  они беспрестанно возрастают во времени, что является в общем неблагоприятным с точки зрения практического использования подземных вод.

В схемах, показанных на рис. 34, приведенные формулы для определения  $N_0$  и  $N_i$  остаются без изменений. Что касается безразмерных сопротивлений  $M_j$ , то при их определении следует разделять два случая: первый — когда источники более или менее равномерно распределены в пределах всей зоны выклинивания и могут быть схематически представлены в виде полосы (см. рис. 34, б).

В первом случае величина  $M_j$  определяется по формулам (XVII, 16) и (XVII, 18), а в отдельных случаях также по формулам (XVII, 7) и (XVII, 10), приведенным для расчета [безразмерного сопротивления в групповых водозаборах.

Возможность использования этих формул в схеме расчета по зависимостям (XVII, 5) и (XVII, 6) основывается на предпосылке, что одновременно с вводом в действие водозаборов источники прекращают свое существование и целиком поглощаются. Источники при этом рассматриваются в виде нагнетательных скважин, влияние которых и учитывается с помощью тех же формул, что и для водозаборов.

Во втором случае, при выходах источников в виде полосы, для расчета безразмерного сопротивления  $M_j$  может быть использована следующая зависимость (для любой длительности откачек):

$$M_j = \frac{2\pi k m t}{bB} [\Phi(z_{01}) - \Phi(z_{02}) - 2(z_{01} \operatorname{ierfc} z_{01} - z_{02} \operatorname{ierfc} z_{02})] \pm \frac{4\pi \sqrt{at}}{B} \operatorname{ierfc} z_{03}, \quad (\text{XVII, 23})$$

где

$$z_{01} = \frac{y - b_1}{2\sqrt{at}}, \quad z_{02} = \frac{y - b_2}{2\sqrt{at}}, \quad z_{03} = \frac{y + \frac{b_1 + b_2}{2}}{2\sqrt{at}};$$

$L$  — длина полосы источников.

Остальные обозначения те же.

Знак (+) во втором члене выражения (XVII, 23) принимается при условии на контуре  $Q = 0$ , знак (—) — при условии  $H = \text{const}$ .

Определенная мера условности изложенного метода расчета связана с тем, что нам заранее неизвестно действительное влияние, которое могут оказать проектируемые водозаборные сооружения на источники. Поэтому расчеты следует производить сначала без учета инверсии источников. На основании такого расчета устанавливается величина понижения уровня в (местах выхода источников (при этом она во всех случаях будет определена с некоторым завышением). Если понижение здесь оказывается значительным, следует сделать расчет повторно уже с учетом инверсии источников (на участках выхода тех из них, где может произойти существенное понижение уровня).

Следует еще иметь в виду, что рассмотренные расчетные схемы являются приближенными. В них не находят отражения, например, часто имеющиеся на конусах выноса реки и каналы, гидравлически связанные с водоносными слоями. Условной и не всегда правомерной является предпосылка о безграничном простираении водоносных горизонтов в направлении к горному массиву (такая предпосылка, как отмечалось, может приниматься только при весьма значительной протяженности конуса выноса и заметной водоносности пород в горной части). Во многих случаях водоносные горизонты в пределах конуса выноса обладают заметной фильтрационной неоднородностью и т. д.

Все это, однако, не исключает возможности применения указанных расчетных схем и методов прогноза на практике.

Если же строение конусов выноса, их геометрические очертания и распределение гидрографической сети таково, что их нельзя представить в виде указанных простейших схем, расчеты производительности водозаборов следует выполнять на основе моделирования или путем экстраполяции опытных и опытно-эксплуатационных данных.

На рисунках представлены результаты прогноза производительности водозаборных сооружений на одном из крупных конусов выноса в Прикаспии, выполненного с помощью моделирования на приборе ЭГДА.

В пределах этого конуса выноса в настоящее время действует водозабор, дебит которого составляет менее 10% от общих естественных ресурсов (динамических запасов) конуса выноса. Последние в значительных размерах разгружаются в зоне выклинивания, где образуется несколько групп источников с суммарным расходом свыше  $5 \text{ м}^3/\text{сек}$ , причем эти источники функционируют постоянно.

## ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕЧНЫХ ДОЛИН

### ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Подземные воды аллювиальных отложений древних и современных речных долин почти повсеместно являются одним из важнейших источников водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий.

Для водоносных горизонтов, приуроченных к аллювиальным отложениям речных долин, характерны следующие особенности:

1) водовмещающими породами являются рыхлообломочные отложения;

2) большая длина области распространения водоносных горизонтов по сравнению с шириной;

3) наличие свободной поверхности у водоносных горизонтов и только в местах, где водоносные породы прикрыты относительно водоупорными отложениями, возможен местный напор, выражающийся обычно несколькими метрами и лишь в исключительных случаях (древние долины) достигающий десятков метров.

4) глубина залегания грунтовых вод от поверхности земли небольшая (на пойменных террасах до 5 м, на древних — от 10 до 20 м);

5) мощность аллювиальных отложений изменяется в очень широких пределах: от нескольких десятков до сотен метров, обычно она не превышает 20—25 м.

6) режим грунтовых вод тесно связан с режимом реки. Динамику грунтовых вод аллювиальных отложений определяют в основном условия их взаимосвязи с поверхностными водами и подземными водами коренных пород.

Современные речные долины можно подразделить на две большие группы: речные долины горных областей и речные долины равнинных областей. Погребенные долины древних рек имеют некоторые специфические черты в геоморфологическом и гидрогеологическом отношении и поэтому будут рассмотрены отдельно.

Для речных долин горных областей характерны сравнительно большие продольные уклоны, достигающие нескольких сотых и даже нескольких десятых долей, и относительно малая ширина. Подземные воды в горных долинах образуют обычно подрусловые потоки, направленные параллельно руслу реки, при этом на некоторых участках долины (как правило, в расширениях) происходит поглощение речных вод, на других участках (перед сужениями) отмечается выход родников. Уклоны подземного потока здесь значительные.

Аллювий горных рек, как правило, сложен крупнообломочным материалом, в котором преобладают валуны, галька, гравий, часто с чистым песком; распределение материала по вертикали крайне незакономерно. Мощность аллювия варьирует в очень широких пределах.

В долинах равнинных рек вследствие малого продольного уклона поток грунтовых вод направлен почти поперек долины. Аллювий представлен преимущественно песчаными и песчано-гравелистыми отложениями, реже галечниковыми, причем крупность материала увеличивается с глубиной. Водоносные отложения нередко покрыты суглинками и глинами. Во многих случаях переход от более крупного к менее крупному материалу резко выражен, и внутри водоносной толщи можно выделить два слоя — верхний, представленный супесями и мелкозернистыми песками, и нижний (так называемый базальный горизонт), сложенный крупнозернистыми песками и гравийно-галечниковыми отложениями.

Однако среди аллювиальных отложений равнинных рек наблюдаются, как указывает Е. В. Шанцер (1951 г.), все переходы пойменного горизонта, сложенного суглинками, глинами от полной его редукции к значительному преобладанию русловой фации, представленной песчаными и гравийно-галечными разностями. Наиболее широко развит промежуточный тип с равноценным развитием верхнего и нижнего горизонтов.

Строение аллювиальных свит равнинных рек определяется в первую очередь режимом их уровней и расходов. Так, аллювиальные отложения рек с естественно зарегулированным режимом (озерные реки с отсутствием резко выраженных паводков и половодий) в основном представлены хорошо отсортированными и промытыми русловыми фациями. Верхний, слабо проницаемый горизонт, как правило, почти не развит.

Для аллювия рек с четко выраженными паводками и с надежными меженными расходами характерно развитие сезонного заиления, наличие прослоев иловатых отложений в водоносных породах и развитие старичных фаций.



Для рек с временными водотоками, с короткими высокими паводками характерно значительное сезонное заиливание русла, развитие слабо проницаемых пойменных фаций, высокое содержание глинистых частиц, линз и прослоев супесей и суглинков в водовмещающих слоях.

Аллювий, представленный преимущественно пойменными водонепроницаемыми фациями, по данным А. Б. Розовского (1954 г.), развит преимущественно в долинах коротких, подтопленных морем рек Юго-Запада СССР, Дальнего Востока и степных рек Нижнего Заволжья.

Общая мощность аллювиальных отложений равнинных рек обычно не превышает 20—25 м и лишь в зонах переуглубления долин достигает нескольких десятков, а иногда и сотен метров. Одним из основных факторов, определяющих методику оценки и разведки запасов подземных вод в аллювиальных отложениях, является характер взаимосвязи подземных и поверхностных вод.

По условиям взаимосвязи подземных и поверхностных вод долины можно подразделить на три типа:

1) река имеет постоянный водоток, заиливание отсутствует и при эксплуатации подземных вод непосредственная гидравлическая связь поверхностных и подземных вод не нарушается (грунтовый поток «не отрывается» от реки);

2) река не имеет постоянного водотока или река имеет постоянный водоток, но русло ее заилено. В условиях эксплуатации заиливание может усилиться, поэтому подпитывания водозабора водами рек происходить не будет (кривая депрессии «отрывается» от реки). Кроме того, существует несколько промежуточных типов, когда: а) русло реки заилено только на отдельных участках, а на других участках связь поверхностных и подземных вод сохраняется, б) русло реки заилено, однако существует затрудненная связь между поверхностными и подземными водами;

3) река имеет постоянный водоток, но русло заилено и при эксплуатации происходит отрыв кривой депрессии от реки, подпитывание водоносного горизонта осуществляется путем «дождевания» речных вод. Интенсивность «дождевания» определяется фильтрационными свойствами грунтов, слагающих ложе водотока.

В ряде случаев водозаборы, расположенные в долинах рек, эксплуатируют водоносные горизонты коренных отложений (р. Сев. Донец и его притоки). Это происходит в том случае, когда речной аллювий имеет малую мощность и обладает более низкими фильтрационными свойствами по сравнению с коренными породами. Аллювиальные отложения тогда служат дополнительной регулирующей емкостью, обеспечивающей подпитывание водоносного горизонта в коренных отложениях сверху и получающей восполнение в паводковый период.

Режим работы водозаборов характеризуется сработкой уровней подземных вод в межпаводковый период и подъемом уровней в период прохождения паводков.

## **ВЫБОР РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Выбор расчетной схемы определяется, как известно, граничными условиями. Рассмотрим граничные условия применительно к современным и погребенным долинам.

### **Современные речные долины**

#### *Долины первого типа*

В долинах первого типа, где подземные воды имеют постоянную гидравлическую связь с рекой, последняя является естественной границей потока, причем уровень воды на этой границе испытывает сезонные колебания. При оценке эксплуатационных запасов подземных вод, определяемых на длительный срок эксплуатации, расчеты следует производить применительно к меженному уровню.

Второй естественной границей в плане, идущей более или менее параллельно реке, является зона причленения аллювия к коренным породам, причем здесь возможны следующие условия:

1) водопроницаемость коренных отложений мало отличается от водопроницаемости аллювия (рис. 41, а). При оценке эксплуатационных запасов в этих условиях водоносный пласт следует рассматривать ограниченным только со стороны реки (полуограниченный пласт);

2) коренные породы обладают крайне слабой водопроницаемостью — практически приток со стороны коренных пород отсутствует (рис. 41, б). Если расстояние от водозабора до реки меньше по крайней мере в два раза, чем расстояние от водозабора до контакта аллювия с коренными породами, то влиянием второй (водоупорной) границы можно пренебречь и также рассматривать пласт как полуограниченный (приближение линии водозабора к контакту аллювия с водоупорными коренными породами нерационально). В горных долинах наиболее целесообразно эксплуатационные скважины закладывать перед суженными участками, где обычно отмечаются выходы родников и аллювиальные отложения более промыты;

3) в сравнительно редких случаях водопроницаемость коренных отложений значительно превосходит водопроницаемость аллювия. В этих условиях на контакте коренных и аллювиальных отложений обычно выходят родники, и водозаборы целесообразно располагать либо в приконтактной зоне, либо непосредственно в коренных породах.

Граничные условия в разрезе могут быть представлены теми же тремя (перечислены выше) типами:

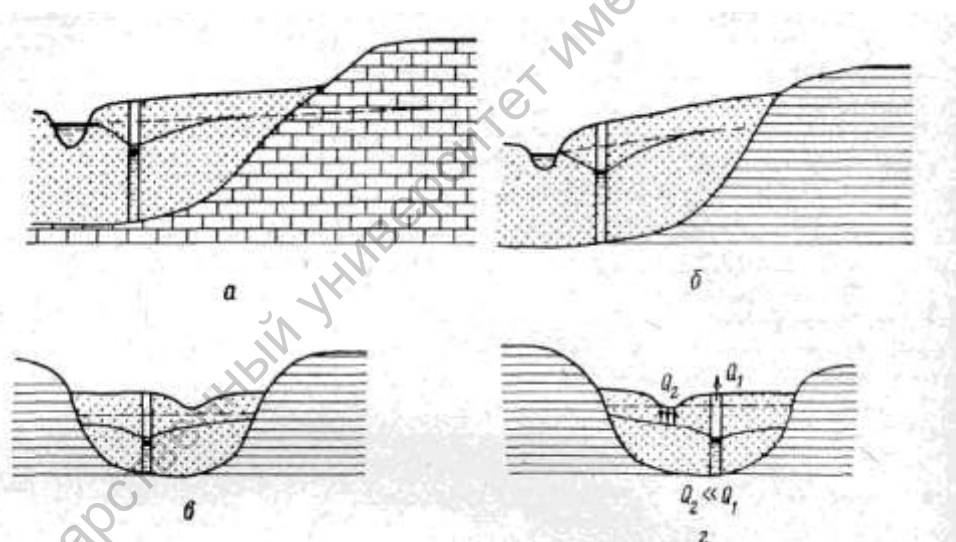


Рис. 41. Различные типы речных долин в зависимости от граничных условий  
а — подземные воды имеют связь с рекой; водопроницаемость коренных пород мало отличается от водопроницаемости аллювия; б — подземные воды имеют связь с рекой; коренные породы практически водоупорны; в — постоянный водоток в реке отсутствует, коренные породы практически водоупорны; г — река имеет слабый водоток с заиленным руслом; подпитывание подземных вод происходит путем «дождевания»; коренные породы практически водоупорны

Не останавливаясь подробно на первых двух случаях, так как существование границы с постоянным напором в непосредственной близости от водозабора в значительной мере уменьшает влияние других границ, обратим особое внимание на третий тип граничных условий, когда водопроницаемость коренных отложений значительно превосходит водопроницаемость аллювия. Причем очень часто в кровле коренных отложений развит слабо проницаемый (заиленный) горизонт, затрудняющий связь аллювиального и коренного водоносных горизонтов.

В подобных условиях водозаборы целесообразно закладывать на водоносный горизонт коренных отложений.

Для всех водозаборов, расположенных у реки, характерна быстрая стабилизация уровней и дебитов, что позволяет вести расчеты эксплуатационных запасов по формулам

установившегося движения, пользуясь гидродинамическими методами или применяя совместно гидравлические и гидродинамические методы.

Гидродинамические методы применяются для ориентировочных расчетов. Понижение уровня в скважинах, расположенных в виде линейного ряда вдоль берега реки, может быть подсчитано по формуле Маскета — Лейбензона.

$$s = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k} \left( \ln \frac{\lambda}{2\pi r_0} + \frac{2\pi l}{\lambda} \right)}, \quad (\text{XIX, 1})$$

где  $s$  — понижение уровня в скважине;  $\lambda$  — расстояние между скважинами;  $l$  — расстояние от линии расположения скважин до реки.

Формула (XIX, 1) выражает равные, несколько завышенные, величины понижений во всех скважинах водозабора, так как не учитывает увеличения притока к конечным участкам ряда. Следовательно, если понижение, рассчитанное по этой формуле, не превышает допустимого, то запасы можно считать обеспеченными.

Более точно, особенно для крайних скважин ряда, величины понижения могут быть найдены для взаимодействующих скважин, расположенных у контура питания, методом зеркального отображения и наложения течений по формуле

$$s = H - \sqrt{H^2 - \frac{1}{\pi k} \left( Q \ln \frac{2l}{r_0} + Q_1 \ln \frac{r_1}{r_1} + \dots + Q_n \ln \frac{r_n}{r_n} \right)}, \quad (\text{XIX, 2})$$

где  $Q$  — дебит скважины, в которой определяется понижение уровня;

$r_1, r_2, \dots, r_n$  — расстояние от скважины, в которой определяется понижение до других скважин водозабора с дебитами соответственно  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ ,

$c_1, c_2, \dots, c_n$  — расстояние этой скважины до зеркальных отображений других скважин водозабора.

На графике (рис. 42) показана сходимость расчетов по формулам (XIX, 1) и (XIX, 2) для различного числа скважин в ряду, для различных расстояний ряда от реки ( $l$ ) и между скважинами ( $\lambda$ ). На оси абсцисс отложены значения  $\frac{l}{\lambda}$ , на оси ординат — соотношения понижений уровня в скважине (в %), определенных по формулам (XIX, 1) и (XIX, 2) для крайних и центральных скважин при разном количестве скважин в ряду.

Для точек, расположенных выше линии АВ (см. рис. 42), ошибка в расчетах величины понижения уровня воды в скважинах по формуле (XIX, 1) не превышает 10%. Для точек, расположенных ниже этой линии, погрешность превышает 10%.

Из графика становится совершенно очевидным, что расчет понижения по центральной скважине ряда, с достаточной степенью точности (расхождение не превышает 10%), можно выполнять по формуле Маскета — Лейбензона, если количество скважин в ряду более 3 и величина  $\frac{l}{\lambda} \leq \frac{2}{3}$ . Для крайней скважины ряда расчет по Маскету — Лейбензону

достаточно точен при величине отношения  $\frac{l}{\lambda} \leq \frac{1}{2}$

Понижение уровня воды в скважине может быть определено при совместном применении гидравлического и гидродинамического методов по формуле

$$s = s_0 + \sum_{i=1}^n \Delta s_i, \quad (\text{XIX, 3})$$

где  $s$  — полное понижение уровня воды в скважине;

$s_0$  — понижение от работы рассматриваемой скважины, определенное по кривой дебита по данным откачек;

$\sum_{i=1}^n \Delta s_i$  — сумма срезок в рассматриваемой скважине от работы других скважин водозабора, определенных по формуле:

$$\Delta s_i = \frac{Q_i}{2\pi kh_{cp}} \ln \frac{r_i}{r_i}, \quad (\text{XIX, 4})$$

где  $Q_i$  — дебит  $i$ -той скважины, вызывающей срезку в рассматриваемой скважине;  
 $r_i$  и  $c_i$  — расстояние от рассматриваемой скважины до скважины, вызывающей срезку, и до ее отображения.

Одним из главнейших вопросов, которые должны быть разрешены при изыскании участка под инфильтрационный водозабор, является вопрос об изменчивости фильтрационных свойств аллювиальных отложений в прирусловой зоне. Особенно важно это для рек, несущих воду с повышенной мутностью.

Во многих случаях при двухслойном строении аллювия река не прорезает слабо проницаемые слои, слагающие верхнюю зону аллювия. Тогда при расчете следует учитывать дополнительное сопротивление, возникающее при фильтрации из реки через слабо проницаемый слой. Величина дополнительного сопротивления  $\Delta l$  определяется по формуле В. М. Шестакова (1964)

$$\Delta l = \sqrt{\frac{kmm_0}{k_0}} \operatorname{cth} b \sqrt{\frac{k_0}{kmm_0}}, \quad (\text{XIX, 5})$$

где  $k$  и  $m$  — коэффициент фильтрации и мощность нижнего хорошо водопроницаемого слоя;

$k_0$  и  $m_0$  — коэффициент фильтрации и мощность верхнего, слабо водопроницаемого или закольматированного слоя;

$b$  — ширина реки.

Для широких рек величина  $\operatorname{cth} b \sqrt{\frac{k_0}{kmm_0}} = 1$ .

Величина  $\Delta l$  может быть определена по данным наблюдений за режимом грунтовых вод (Биндеман, 1952): 1) в период стационарного положения депрессионной кривой; 2) в паводковый период и 3) для каналов и водохранилищ в период быстрого наполнения или опорожнения.

При значительных смещениях уреза, превышающих фактическое расстояние до реки в 5—7 раз, ошибка при определении понижения может превысить 20%.

При расчете величины понижения уровня воды в скважине по формулам (XIX, 1) и (XIX, 2) в них вместо величины  $l$  будет входить величина  $l' = l + \Delta l$ .

При расчете понижений в скважинах инфильтрационного водозабора необходимо учитывать влияние сопротивления ложа водоема, сказывающееся в связи с несовершенством вреза речного русла.

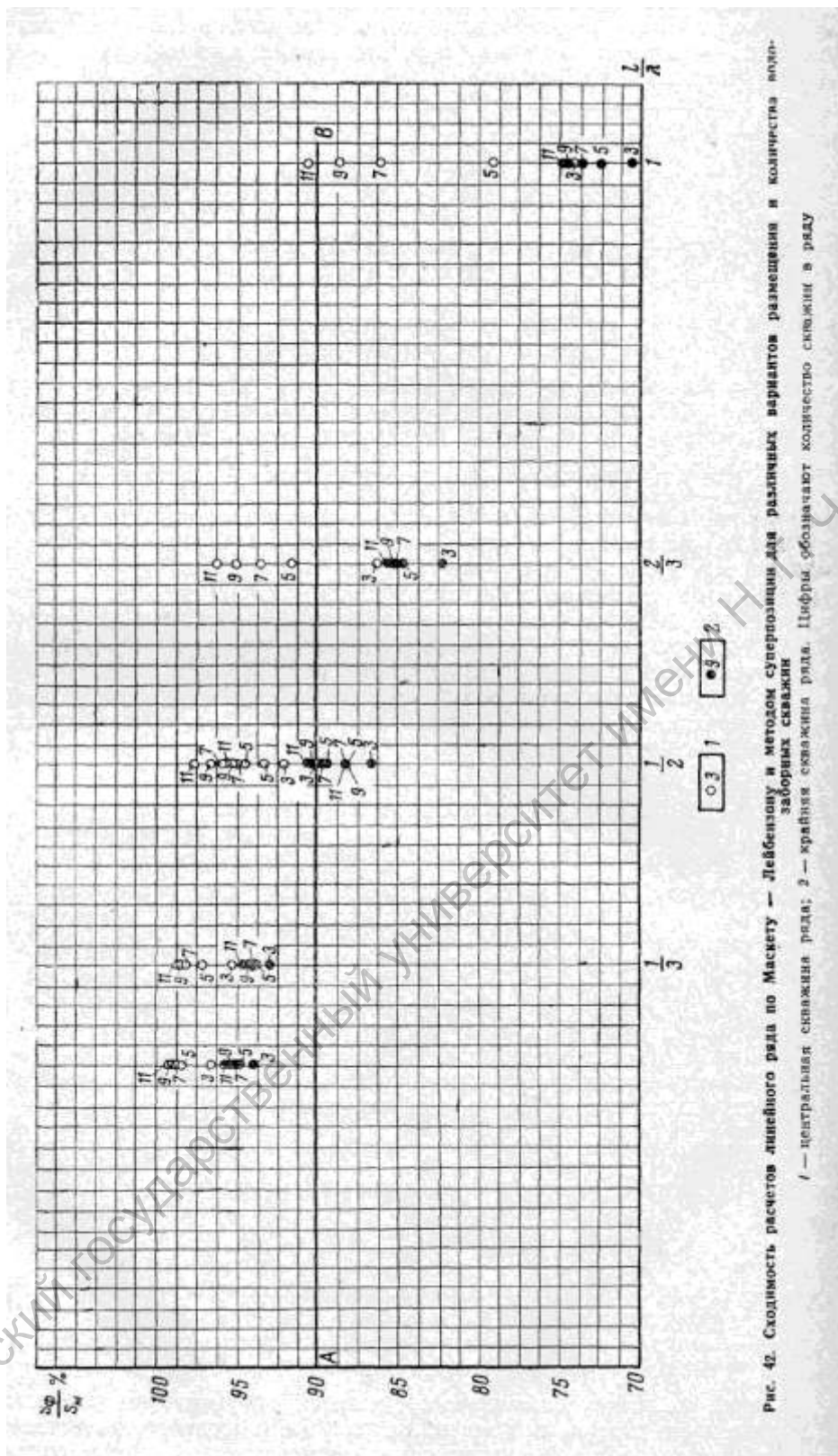


Рис. 42. Сходимость расчетов линейного ряда по Маскету — Левбензону и методом суперпозиции для различных вариантов размещения и количества муч-заборных свай  
 1 — центральная свая ряда; 2 — крайняя свая ряда. Цифры обозначают количество свай в ряду

Учет дополнительного сопротивления в этом случае в соответствии с предложениями В. М. Шестакова (1964) осуществляется путем сдвига уреза реки на величину  $\Delta l$ :

$$\Delta l = B - \frac{2H}{\pi} \ln \operatorname{sh} \frac{\pi B}{2H}, \quad (\text{XIX, 6})$$

где  $2B$  — ширина реки.

Для крупных рек ( $B > H$ ):

$$\Delta l = 0,44H. \quad (\text{XIX, 7})$$

Прохождение высоких бурных паводков на реках, сопровождающееся деформациями

русла, может служить благоприятным фактором при выборе участка водозабора, так как при этом происходит «сдирание» верхнего закольматированного слоя, аналогичное промывке естественного фильтра, через которые речные воды поступают в скважину.

На реках с резким изменением фильтрационных свойств аллювия, в пределах даже небольших отрезков долины (например, аллювий долины р. Арагви) содержание глинистых частиц местами столь велико, что скважины, пробуренные в непосредственной близости от русла, воду не вскрывают; аллювиальные отложения здесь безводны. В то же время на значительном расстоянии от этих участков фильтрационные свойства аллювия достаточно благоприятны для сооружения береговых водозаборов (Семенов, Лыкошин, 1960 г.). Поэтому в процессе полевых исследований важно установить наличие таких заиленных участков

По мнению некоторых исследователей, эксплуатация инфильтрационных и особенно лучевых подруслых водозаборов способствует усилению естественной кольматации русла на участке водозабора и снижению дебита водозабора. Однако фактический материал, накопленный по этому вопросу, имеет несколько противоречивый характер.

В работах А. И. Арцева (1964 г.) и А. Ф. Порядина (1962 г.) показано, что снижение фактического дебита водозабора по сравнению с проектным происходит чаще всего по трем причинам:

1) из-за недоразведанности участка водозабора, когда изменение фильтрационных свойств аллювия в прирусловой зоне («естественная» кольматация) не изучено;

2) при сооружении инфильтрационных водозаборов в верхнем бьефе водоподъемной плотины. При сооружении водохранилища происходит искусственная «перестройка» режима реки, сопровождающаяся образованием естественного отстойника, которым является чаша водохранилища. В этом случае усиление кольматации, очевидно, в большей степени вызвано снижением скоростей течения поверхностных вод, выпадением взвешенных частиц и образованием слоя ила, выстилающего дно водохранилища и создающего дополнительное сопротивление, не учтенное при проектировании водозабора;

3) в результате изменения режима стока взвесей в речных водах под влиянием деятельности человека. В качестве примера может служить опыт эксплуатации водозабора в г. Томске, где кольматация речного русла резко увеличилась вследствие сброса в реку выше участка водозабора золы с действующей ТЭЦ.

Кроме указанных случаев увеличение степени кольматации русловых отложений отмечено для лучевых подруслых водозаборов, на участке действия которых градиент достигает 1 и более.

Во всех остальных случаях вопрос об изменении закольматированности русла под влиянием работы берегового водозабора пока остается нерешенным.

#### *Долины второго типа*

Характерной чертой этих долин является постоянное или временное отсутствие взаимосвязи поверхностных и подземных вод и вследствие этого — неустановившийся режим движения подземных вод при эксплуатации. В этих условиях наиболее част случай, когда ширина долины невелика, водопроницаемость аллювиальных отложений значительно выше, чем водопроницаемость коренных пород, которые для простоты расчета можно рассматривать как водоупор. Постоянный водоток в реке отсутствует. Подобные условия характерны для засушливых областей (Казахстан), а также для горных рек, если вода из них полностью разбирается на ирригацию или русло реки заилено. Восполнение запасов в таких условиях происходит либо в периоды паводков (р. Илек), либо в отдельные многоводные годы, поэтому дебиты водозаборов в течение длительного времени обеспечиваются только за счет сработки естественных запасов. Длительность маловодного периода достигает для некоторых районов 9 лет (р. Токрау).

В этих условиях нужно учитывать влияние обеих водоупорных границ, принимая расход на них равным нулю, и рассматривать пласт ограниченным с двух сторон непроницаемыми породами (пласт-полоса).

При оценке эксплуатационных запасов в рассматриваемых условиях применяется гидродинамический метод. При этом в долинах, где поверхностные водотоки действуют

периодически, оценка разделяется на две части: расчет сработки естественных запасов (в период отсутствия стока) и расчет восполнения запасов (при наличии водотока). Методика расчета водозаборов в аллювиальных отложениях речных долин при сработке естественных запасов разработана Ф. М. Бочевеком (1959, 1960), Ф. М. Бочевеком и Е. А. Кожевниковой (1957). Понижение уровня в водозаборных скважинах определяется в зависимости от системы расположения скважин, что в свою очередь зависит от мощности водоносного горизонта и условий восполнения запасов при эксплуатации.

Наиболее рационально, по технико-экономическим соображениям, закладывать скважины в виде одного или нескольких поперечных рядов, так как при таком расположении скважин длина водоводов получается наименьшей по сравнению с расположением скважин вдоль долины. Понижение уровня в водозаборной скважине приближенно определяется по формуле

$$s = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k} \left( \ln \frac{\lambda}{2\pi r_0} + \frac{3,55 \sqrt{a_y t}}{\lambda} \right)}. \quad (\text{XIX, 8})$$

Если в пласте работают два или более поперечных рядов скважин, то к понижению уровня, рассчитанному по формуле (XIX, 8), необходимо прибавить сумму срезов уровня, образующихся в скважине рассматриваемого ряда при работе скважин соседнего ряда. Эти срезы уровня определяются по формуле

$$\Delta s_i = \frac{Q_{i \text{ сум}} \sqrt{a_y t}}{B_i k} R \left( \frac{x_i}{2 \sqrt{a_y t}} \right), \quad (\text{XIX, 9})$$

где  $\Delta s_i$  — срезка уровня в скважине рассматриваемого ряда при работе соседнего  $i$ -того ряда;

$Q_{\text{сум}}$  — суммарный дебит скважин  $i$ -того ряда, вызывающего срезку уровня в скважине рассматриваемого ряда;

$x_i$  — расстояние от ряда, в скважине которого определяется срезка, до  $i$ -того ряда, вызывающего срезку;

$B_i$  — длина  $i$ -того ряда, вызывающего срезку;

$R \left( \frac{x_i}{2 \sqrt{a_y t}} \right)$  — специальная функция, значение которой приводится в табл. 27.

Таблица 27

$\frac{x}{2 \sqrt{a_y t}}$	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,3
$R$	0,564	0,52	0,46	0,38	0,31	0,25	0,20	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,02

В долинах, где мощность водоносного аллювия незначительна и восполнение запасов происходит в кратковременные периоды, скважины целесообразно закладывать в виде продольных рядов для увеличения фронта, на котором будет происходить фильтрация вод к скважинам в период восполнения. В узких (шириной до 2 км) долинах следует закладывать один продольный ряд скважин, при большей ширине — два ряда.

Понижение уровня в скважине продольного ряда определяется приближенно по формуле

$$s = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k} \left( \ln \frac{R_k}{r_0} + \frac{2at}{R_k^2} - \frac{3}{4} \right)}, \quad (\text{XIX, 10})$$

где  $R_k$  — радиус круга, равновеликого блоку со сторонами  $\lambda$  и  $L$ , а  
 $\lambda$  — расстояние между скважинами;  
 $L$  — ширина долины;

$$R_k = \sqrt{\frac{\lambda \cdot L}{\pi}}. \quad (\text{XIX, 11})$$

При этом расчете величины понижений для всех скважин, кроме центральной, получаются несколько преувеличенными.

Формула (XIX, 11) выведена из предположения, что каждая скважина срабатывает естественные запасы на участке, ограниченном линиями, проходящими через середины

расстояний между скважинами и непроницаемыми бортами долины, т. е. что каждая скважина работает в закрытом блоке.

Если работают два продольных ряда скважин, то в формулу (XIX, 11) вместо  $L$  подставляется  $\frac{L}{2}$  — половина ширины долины.

Величина восполнения естественных запасов в долинах рек с периодически действующими водотоками определяется на основании данных наблюдений за потерей речного стока, в паводковые периоды — за счет фильтрации в аллювиальные отложения. Ориентировочно эти потери могут быть определены как утечка через стенки и дно канала по формулам, предложенным С. Ф. Аверьяновым (1955 г.), Н. Н. Веригиным (1958 г.), Н.Н. Биндеманом (Справочное руководство гидрогеолога, 1959).

При расположении водозабора в центральной части широких долин, на расстоянии нескольких километров от границ пласта, влиянием последних можно пренебречь и рассматривать пласт как неограниченный. Подобные условия характерны для некоторых участков крупных речных долин равнинных рек, на которых русло реки заилено, вследствие чего при эксплуатации подземный поток «отрывается» от горизонта реки и движение его приобретает неустановившийся характер.

Этой же расчетной схеме отвечает случай, когда водопроницаемость аллювиальных отложений в долинах с периодически действующими водотоками мало отличается от водопроницаемости коренных отложений. В этом случае особую важность приобретает вопрос о минерализации вод в коренных отложениях. Если минерализация их превышает норму, необходимо определить время подсоса соленых вод снизу и минерализацию воды при смешении в конце периода эксплуатации водозабора, если подсос начинается в процессе эксплуатации (см. главу XXI). Эти вопросы детально разработаны в работах В. Д. Бабушкина (1962) и В. М. Гольдберга (1964).

#### *Долины третьего типа*

В процессе эксплуатации подземных вод в долинах с постоянным слабым водотоком, текущим в заиленном русле, в меженный период происходит отрыв депрессионной кривой от реки. Подпитывание подземных вод осуществляется путем «дождевания» речных вод (рис. 41, г). В паводковый период пойма затапливается полыми водами и происходит смыкание уровня подземных и поверхностных вод.

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод в условиях свободной фильтрации воды из речного русла выполняется с применением гидравлического метода. Гидродинамические методы для подобного случая еще не разработаны.

Кроме того, для оценки эксплуатационных запасов подземных вод может быть использован опыт эксплуатации действующих водозаборов.

#### **Погребенные долины**

Древние погребенные долины могут быть разделены на два подтипа:

1. Древние долины совпадают с современными. Отложения современного аллювия залегают непосредственно на древнеаллювиальных, и подземные воды, приуроченные к этим осадкам, образуют единую гидравлическую систему, связанную с поверхностным водотоком.

Методика оценки эксплуатационных запасов подземных вод в этом случае аналогична изложенной в соответствующих разделах настоящей главы.

2. Древние долины, не связанные с современными долинами. Часто древний аллювий перекрыт в кровле надежными водоупорами. Здесь могут быть рассмотрены два случая: 1) водопроницаемость коренных пород значительно ниже водопроницаемости древнеаллювиальных накоплений; 2) коренные отложения по водопроницаемости практически не отличаются от древнеаллювиальных.

В первом случае коренные породы можно рассматривать как водонепроницаемые. Расход на границах пласта равен нулю. Если долина имеет длину порядка нескольких десятков километров, древнеаллювиальный водоносный горизонт можно рассматривать как пласт-полосу. Если же долина имеет незначительную протяженность, оценка эксплуатационных запасов подземных вод может быть выполнена только при условии



использования их в течение ограниченного времени (пять — десять лет), т. е. подземные воды этого горизонта могут служить только в качестве временного источника водоснабжения.

Восполнение древнеаллювиального горизонта может происходить путем инфильтрации атмосферных осадков через «окна» в водоупорной кровле, либо на всей площади распространения горизонта, если водоупорное перекрытие отсутствует.

Величина понижения в скважинах водозабора может быть определена для пласта-полосы по формулам (XIX, 8) и (XIX, 10) и для пласта-круга по формуле (XIX, 10).

Во втором случае, когда фильтрационные свойства коренных пород почти не отличаются от фильтрационных свойств древнего аллювия, оценку эксплуатационных запасов подземных вод следует выполнять применительно к схеме неограниченного пласта (см. главу XII).

## **ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Приведенная краткая характеристика аллювиальных водоносных горизонтов и схематизация природных условий применительно к трем основным задачам (типам) позволяет определить вопросы, которые должны быть решены в процессе гидрогеологических исследований для оценки эксплуатационных запасов подземных вод аллювиальных водоносных горизонтов и вод коренных отложений в долинах рек:

- 1) распространение, мощность и фильтрационные свойства аллювия;
- 2) режим реки (уровни, расходы, мутность, взвешенные наносы, качество воды, особенно для меженного периода, деформации русла, (см. главу VII);
- 3) характер связи грунтовых и речных вод и влияние режима поверхностного стока на характер этой взаимосвязи;
- 4) качество грунтовых вод;
- 5) характеристика водоносного горизонта в коренных породах, качество вод коренных отложений.

Весьма существенным фактором, который может повлиять на режим работы инфильтрационного водозабора, является возможное увеличение кольматации русла водотока или водоема под влиянием работы собственно водозабора. Однако в настоящее время еще не разработана методика прогнозирования этих изменений, поэтому оценить их можно только на основе опыта эксплуатации водозаборов, работающих в сходных условиях.

Все поставленные вопросы могут быть решены лишь при условии проведения широкого комплекса исследовательских работ: съемочных, буровых, опытных, гидрологических и геофизических. Состав и объем работ определяются в значительной мере сложностью природных условий (климатических, гидрогеологических, геолого-морфологических и гидрологических), степенью изученности района, этапом исследований и величиной заявленной потребности в подземных водах.

Описание методики производства гидрогеологических работ для организации водоснабжения за счет подземных вод аллювиальных отложений дано применительно к трем стадиям полевых исследований. В целом ряде случаев представляется возможным значительно сократить объемы работ на отдельных стадиях, а иногда просто отказаться от производства работ для одной из стадий.

Поисковые работы. Первым этапом гидрогеологических исследований для оценки эксплуатационных запасов подземных вод являются поисковые работы. Целевым назначением их является получение гидрогеологической характеристики района для выделения перспективных участков. Основным видом работ на этой стадии служит гидрогеологическая съемка масштаба 1 : 25 000 — 1 : 50 000. Выбор масштаба обусловлен сложностью геолого-гидрогеологических и гидрохимических условий.

В зонах избыточного увлажнения, где реки имеют постоянный водоток и хорошо разработанную долину, а запасы подземных вод имеют надежное восполнение, масштаб съемки может быть не крупнее 1 : 50 000.

В аридной и полуаридной зонах, где гидрохимическая обстановка весьма пестрая, реки пересыхают, геолого-гидрогеологические условия часто характеризуются наличием тектонических нарушений и развитием мелких структур, съемочные работы необходимо вести применительно к более крупным масштабам (1 : 25 000).

Съемкой должна быть захвачена не только собственно речная долина, но и коренные берега ее. В процессе гидрогеологической съемки должно быть установлено геологическое строение долины, история ее развития, участки древних переуглублений, строение и фильтрационные свойства аллювия, направление грунтового потока и связь его с речными водами, выявлены участки разгрузки аллювиальных вод родниками и путем испарения, участки расширения и сужения долины и связанные с ними участки поглощения речных вод или разгрузки грунтовых вод. Охарактеризованы фильтрационные свойства коренных пород и качество воды в аллювиальных и коренных отложениях. Если в районе съемки выявлены воды повышенной минерализации, необходимо проследить границу раздела пресных и минерализованных вод.

При проведении гидрогеологической съемки должны быть собраны материалы по действующим водозаборам (расходы, уровни, количество скважин, режим их работы, темпы наращивания водоотбора в процессе эксплуатации водозабора и закономерность снижения уровней) и об утвержденных запасах подземных вод в районе.

В процессе проведения поисковых работ должны быть получены данные о режиме реки, продолжительности меженного периода, характере и продолжительности паводка и собраны данные о существующем отборе воды из реки, что особенно важно для рек маловодных, пересыхающих и перемерзающих. Для рек с периодически действующими водотоками (пересыхающие и перемерзающие реки) должна быть установлена длительность периода, когда сток в реке отсутствует.

Для получения гидрологических данных возможно использование метода аналогий, позволяющего применять материалы наблюдений за режимом стока и характеристикой какой-либо исследованной реки, находящейся в аналогичных природных условиях.

Гидрогеологическая съемка на стадии поисков выполняется с применением буровых и опытных работ. Буровые скважины закладываются по поперечникам (4—5 скважин на поперечнике), отстоящим друг от друга на расстоянии 3—4 км. Скважины рекомендуется закладывать вблизи русла (на расстоянии порядка 100 м), в тыловой части террас, в месте примыкания их к коренному берегу и на коренном берегу.

Скважины, закладываемые в аллювиальных отложениях, следует проходить с углублением в коренные породы: в том случае, если мощность аллювиальных отложений значительна (измеряется сотней метров и более), коренные породы следует вскрывать не более чем одной скважиной. В этом случае глубина заложения остальных скважин не должна превышать 60—70 м. Рельеф кровли коренных пород в этом случае может быть охарактеризован по данным геофизических работ (электроразведка).

Характеристика фильтрационных свойств коренных пород в бортах долины должна быть получена по данным бурения и опробования скважин. Глубина вскрытия пород скважинами в бортах долины определяется в значительной мере глубиной вреза долины, и поэтому она может меняться в очень широких пределах. Ориентировочно можно рекомендовать углубление бортовых скважин на 8—10 м ниже абсолютной отметки уреза воды в реке. Из всех пробуренных скважин должны быть произведены пробные откачки из аллювиального и коренного водоносного горизонтов, на одно понижение каждая. Продолжительность откачки не более 3 смен.

Поисковые работы целесообразно проводить на базе имеющихся аэрофотосъемочных материалов. Наиболее эффективен этот метод при разведке аллювиальных водоносных горизонтов древних погребенных долин, так как он часто позволяет проследить на фотоснимках контуры долины, которые при наземных визуальных наблюдениях в рельефе выделить почти невозможно.

В тех районах, где речные долины врезаны в скальные породы, геологическое строение их может быть достаточно надежно установлено по геофизическим данным (электропрофилирование и электроразведание). Особенно важное значение этот метод

приобретает в долинах, где мощность аллювия велика, и бурение скважин до коренных пород резко удорожает стоимость поисков. Материалы поисковых работ позволяют выделить перспективные участки для проведения предварительной разведки. Если район в гидрогеологическом отношении достаточно изучен и в его пределах имеются действующие водозаборы, то запасы подземных вод утверждались на отдельных участках; если же по району имеются данные съемочных, буровых или геофизических работ, проводившихся для других целей, то это позволяет выделить участки, перспективные для организации водоснабжения, а проведение поисковых работ нецелесообразно.

В случае, когда источником водоснабжения в речной долине выбран водоносный горизонт коренных отложений в процессе буровых и опытных работ, основное внимание должно быть уделено исследованию его геолого-гидрогеологических характеристик (мощность, фильтрационные свойства, качество воды).

*Предварительная разведка.* Целью гидрогеологических исследований на стадии предварительной разведки является получение сравнительных гидрогеологических характеристик нескольких участков, выбранных на стадии поисковых работ. В дальнейшем на основании сопоставления материалов, полученных в процессе предварительной разведки, должен быть выбран участок для детальной разведки водозабора применительно к конкретной схеме.

Предварительная разведка включает выполнение широкого комплекса работ: буровых, опытных, геофизических, гидрологических и наблюдательных.

Бурение скважин производится по поперечникам, отстоящим друг от друга на расстоянии 0,5—1,0 км. В горных долинах поперечники располагаются выше участков сужений, в местах возможного поглощения речного стока и ниже впадения притоков. Расстояния между скважинами на поперечнике не превосходят 300—500 м. Для увязки полученных данных между поперечниками бурятся одиночные скважины.

В речных долинах с периодически действующими водотоками очень важно получить детальную характеристику строения и фильтрационных свойств аллювия не только в приречной зоне, но и в пределах всей долины, так как эксплуатация водозаборов в подобных долинах в меженные периоды происходит за счет сработки естественных запасов в аллювии. Поэтому в долинах пересыхающих рек следует закладывать скважины между поперечниками и в тыловых частях террас. На горных реках, где аллювий часто представлен крупновалунным материалом, бурение скважин весьма удорожается. В подобных случаях буровые работы возможно частично заменять геофизическими, особенно там, где коренные породы представлены скальными разностями.

В речных долинах с мощными толщами аллювиальных отложений характеристика относительного изменения фильтрационных свойств может быть получена с помощью резистивиметрии. Применение этого метода позволяет выделить более проницаемые прослои для установки фильтров.

Буровые выработки следует закладывать на полную мощность аллювия, если она не превышает 100 м, особенно на участках разведки древних погребенных долин, так как в последнем случае наиболее важно определение естественных запасов подземных вод. Для сокращения объема буровых работ и уточнения мест заложения скважин рекомендуется провести электропрофилирование или электротондирование. Эти геофизические исследования особенно полезны при поисках древних погребенных долин, к которым нередко приурочены значительные запасы подземных вод. Скважины, пробуренные на характерных участках для получения данных об удельных дебитах и коэффициентах фильтрации, опробуются опытными откачками на одно-два понижения, продолжительностью 5—8 суток.

В отдельных случаях, особенно в нешироких долинах, когда можно предположить отсутствие взаимосвязи подземных и поверхностных вод, групповые откачки целесообразно произвести на стадии предварительных исследований с организацией наблюдений за ростом депрессионной воронки по обоим берегам реки. Результаты групповой откачки явятся одним из основных показателей при решении вопроса о постановке детальных работ и выборе схемы водозабора.

Характеристика фильтрационных свойств аллювия и ее изменения по вертикали, при мощности аллювиальных отложений более 20—30 м, должна быть определена по данным зональных откачек. Длина опробуемого интервала 10—15 м.

Для определения степени заиления русла необходимо провести опытную откачку из скважины, отстоящей от реки в 10—15 м. В процессе откачки должны проводиться наблюдения за уровнем подземных вод по скважинам, расположенным вблизи уреза на обоих берегах реки (для нешироких рек). Если ширина реки значительна (более 100—200 м), наблюдения за уровнем подземных вод следует проводить по пьезометрам, установленным в русловой части или по скважине, пробуренной на острове. Следует, однако, помнить, что снижение уровня воды в скважине, расположенной у берега реки, при откачке из подземных вод на противоположном берегу может происходить не только вследствие заиления речного русла и отрыва депрессионной кривой от уреза реки при неустановившемся движении. Причиной снижения уровня в условиях установившегося движения может послужить несовершенство вреза речного русла.

Оценка сопротивления русла вследствие кольматации может быть дана по материалам режимных наблюдений за уровнями аллювиального горизонта, особенно в периоды прохождения паводков, попусков воды из водохранилищ и других случаев, связанных с резким колебанием уровня воды в реке.

В связи с этим на участках предварительной разведки необходима организация годичного цикла режимных наблюдений по характерным скважинам (у реки, в тыловой части поймы, на коренном берегу). Данные режимных наблюдений позволят судить о величине питания аллювиального водоносного горизонта. На горных реках изучение режима подземных вод должно проводиться совместно с гидрологическими наблюдениями на участках возможного поглощения речных вод. Для этого выше и ниже предполагаемого участка поглощения должны быть оборудованы гидрометрические посты.

В тех случаях, когда заказчиком предъявляются требования по температуре воды, необходимо режимные наблюдения за поверхностными и подземными водами и опытные откачки сопровождать термометрическими наблюдениями. Постановка термометрических наблюдений целесообразна также в долинах рек с маломощным аллювием.

Допустимые понижения уровней воды в скважинах при эксплуатации подземных вод невелики, значительная часть эксплуатационных запасов подземных вод формируется за счет привлечения поверхностного стока. Следовательно, температура откачиваемой воды и ее вязкость будут меняться в соответствии с колебаниями температуры и вязкости речных вод. Установлено, что колебания температуры воды и ее вязкости находят отражение в изменении коэффициентов фильтрации, причем изменения эти могут составить около 20—25%.

При оценке эксплуатационных запасов подземных вод на этих участках расчеты следует выполнять применительно к наименьшим значениям коэффициентов фильтрации, обычно характерных для зимней межени.

Разведка подземных вод коренных отложений в долинах рек проводится по аналогичной методике, однако водоносный горизонт в коренных породах при этом должен быть изучен с большей детальностью.

Буровые скважины должны вскрывать водоносный горизонт в коренных породах на полную мощность с углублением в подстилающие слои. Если мощность коренного водоносного горизонта значительна (100 м и более), вскрывать его на полную мощность следует не более чем одной скважиной. В трещиноватых породах буровые работы следует сопровождать геофизическими исследованиями (каротаж, резистивиметрия). Причем основной целью их является установление мощности трещиноватой зоны, закономерностей развития трещиноватости по глубине и в плане, наличие слабо проницаемого прослоя в кровле коренных пород.

Опытно-фильтрационные работы должны дать материал для суждения об удельных дебитах и коэффициентах фильтрации коренных пород и аллювия, о взаимосвязи коренного и аллювиального водоносных горизонтов и связи их с рекой. С этой целью все

скважины опробуются опытными откачками на один-два понижения, продолжительностью 5—8 суток. В процессе откачки (горизонты должны быть изолированы) необходимо тщательно следить за изменением уровней как в опробуемом горизонте, так и в смежном. Это позволит судить о степени взаимосвязи водоносных горизонтов.

Если мощность водоносного горизонта более 20—30 м, необходимо получить данные об изменчивости фильтрационных свойств его по вертикали с помощью поинтервальных откачек из 2—3 скважин (длина опробуемого интервала 5 м).

Метод исследования аллювиальных отложений изложен выше.

*Детальная разведка.* Материалы предварительной разведки позволяют на основании сопоставления данных по нескольким участкам выбрать наиболее благоприятную в гидрогеологическом и технико-экономическом отношении площадку для детальной разведки водозабора. Весь комплекс детальных исследований на выбранной площадке планируется применительно к схеме проектируемого водозабора. Определяются наиболее рациональное размещение выработок, расстояние между ними, глубина разведки, объем и методика исследований.

При заложении линейного ряда скважин у реки следует учитывать, что их дебиты возрастают при приближении к реке. Однако закладывать скважины очень близко от русла не рекомендуется, так как это приводит к увеличению напорных градиентов, что может вызвать засасывание илистых частиц в поры водопроводящих пород, заиливание русла и уменьшение фильтрации речных вод к водозабору. По-видимому, минимальным допустимым расстоянием водозабора от реки следует считать расстояние порядка 75—100 м. Водозаборные скважины целесообразнее располагать на подмываемых берегах, так как здесь во время паводка может произойти смыв заиленного слоя грунта в речном русле. Однако при выборке участка на подмываемом берегу необходимо предусмотреть берегоукрепительные мероприятия. При выборе места заложения скважин следует также учитывать границы территории, затапливаемой при паводке. Предпочтительно, чтобы скважины не попали в зону затопления. В широких долинах с периодически действующими водотоками и в погребенных долинах водозабор наиболее рационально закладывать в виде одного или нескольких поперечных рядов.

Комплекс исследований на стадии детальной разведки включает большей частью буровые и опытные работы.

Буровые скважины закладывают в виде поперечного или продольного ряда на расстоянии 200—300 м друг от друга; как правило, эти скважины должны быть разведочно-эксплуатационными. Для оценки влияния заиливания русла на работу водозабора должно быть пробурено несколько наблюдательных скважин вблизи речного русла.

Все пробуренные разведочно-эксплуатационные скважины опробуются опытными одиночными откачками на два понижения для характеристики зависимости дебита от понижения и определения коэффициента фильтрации. Продолжительность откачки 5—8 суток. Опробованию подлежат как аллювиальные, так и коренные породы. Из двух-трех наиболее характерных скважин производятся кустовые откачки, позволяющие оценить возможное взаимодействие скважин при эксплуатации.

При разведке подземных вод в коренных породах на участках древних погребенных долин, не связанных с современными водотоками, в меженный период из нескольких разведочно-эксплуатационных скважин производится групповая откачка при максимально возможном понижении уровня воды в них. Суммарный дебит групповой откачки должен составлять около 40—50% от проектного дебита. В процессе откачки по наблюдательным скважинам производятся замеры уровней подземных вод для изучения процесса формирования депрессионной воронки. Продолжительность групповой откачки обычно составляет 1,5 месяца и более. Откачка из трещиноватых закарстованных пород должна захватывать частично паводковый период, что позволит судить о величине восполнения запасов после их сработки.

Если на участке водозабора скважинами вскрыты минерализованные воды в аллювии

или в коренных отложениях, необходимо во время групповой откачки тщательно регистрировать возможные изменения минерализации откачиваемой воды и минерализации воды в наблюдательных скважинах.

При организации групповой откачки воду следует отводить и сбрасывать за пределы участка вниз по течению. Групповая откачка из подземных вод в коренных породах может не производиться, если имеется опыт эксплуатации этого горизонта в аналогичных условиях, позволяющий судить о режиме изменения уровней под влиянием эксплуатации в межень и паводковый период и оценить роль паводкового питания.

Результаты детальной разведки служат основой для утверждения запасов по высоким категориям.

### **ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ ВОДОЗАБОРОВ**

Очень часто заявленная потребность в воде может быть удовлетворена не за счет эксплуатации подземных вод на новых участках, но посредством увеличения водоотбора на действующем водозаборе: 1) из существующих скважин и 2) путем бурения новых скважин в пределах участка.

Вывод о возможности расширения действующего водозабора может быть сделан на базе изучения опыта его эксплуатации. Для этого необходимо собрать следующие данные: уровни подземных вод и дебит водозабора и изменение их в процессе эксплуатации, режим поверхностного стока, качество отбираемой воды и изменение ее во времени, размеры, форма и характер развития депрессионной воронки, режим работы водозабора (круглосуточный или периодически действующий). В первую очередь этот материал должен послужить основой для решения вопроса о возможности увеличения нагрузки на работающие скважины. Если дальнейшее снижение уровня в действующих скважинах невозможно, необходимо установить, в каком направлении целесообразно расширять водозабор, и планировать работы на стадии детальной разведки.

Отметим также некоторые специфические вопросы, которые должны быть решены при проведении гидрогеологических исследований в отдельных районах.

Эксплуатация подземных вод в маломощном аллювии рек предгорий может производиться лишь с малыми понижениями (водозабор г. Черновцы) уровня. Дебиты вертикальных колодцев в этом случае весьма ограничены. Наиболее целесообразны поэтому сооружение и эксплуатация лучевых водозаборов.

В долинах рек, русло которых заилено (реки Предкарпатья), эксплуатация инфильтрационных водозаборов производится преимущественно за счет вод аллювиального горизонта, почти без привлечения речного стока. В связи с этим фактические дебиты водозаборов значительно меньше проектных, определенных по формуле Маскета, и не удовлетворяют заданной потребности. Для повышения производительности водозабора целесообразно прибегнуть к искусственному восполнению запасов подземных вод аллювиального горизонта.

Подпитывание водоносного горизонта может быть осуществлено путем устройства: а) инфильтрационных бассейнов и б) канав и траншей.

Эксплуатация бассейнов и канав осложняется периодическим заилением этих сооружений, являющихся по существу отстойниками. В связи с этим работа их по мере кольматации дна и бортов ухудшается, и эти сооружения требуют чистки. Проточные каналы в этом отношении более надежны в эксплуатации.

Примером магазинирования подземных вод может служить участок водозабора в г. Ивано-Франковске. Первоначально фактическая производительность водозабора составляла 60% от проектной. Затем выше створа водозаборных скважин была проложена инфильтрационная траншея, получавшая воду из р. Быстрицы Надворнянской. Сразу после ввода в строй траншеи уровни подземных вод повысились на 3—4 м, а дебит водозабора превысил проектную мощность на 30—40%.

### **ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЛИНЗ ПРЕСНЫХ ВОД**

Под линзами пресных вод (минерализация менее 1 г/л) обычно понимают локальные

участки пресных подземных вод, заключенных среди минерализованных вод. К ним могут быть условно отнесены также «языки» и потоки пресных подземных вод, вторгающиеся в подземные соленые воды. В природе встречаются различные типы линз пресных вод. Разнообразие типов линз обусловлено особенностями их питания и геолого-гидрогеологическими условиями района.

Пополнение запасов пресных вод линзы может осуществляться одновременно за счет нескольких источников питания. Среди последних в большинстве случаев оказывается возможным выделить основной источник питания. По характеру преобладающего питания линзы пресных вод можно подразделить на следующие типы:

1) линзы, формирующиеся за счет инфильтрации атмосферных осадков (подтакрырные и подлиманные линзы, линзы под логами, падинами и т. д.);

2) линзы, формирующиеся в результате фильтрации пресных вод из поверхностных водотоков и водоемов (подрусловые, приканальные и приречные линзы, линзы вблизи водохранилищ и озер и др.);

3) линзы, формирующиеся в районе предгорных равнин за счет подземного стока пресных вод, внедряющихся в минерализованные грунтовые воды;

4) линзы, формирующиеся в районе морских побережий в зоне контакта пресных подземных вод с солеными морскими водами;

5) линзы, формирующиеся на океанических и морских островах за счет атмосферных осадков;

6) линзы, формирующиеся за счет конденсации атмосферной влаги;

7) линзы, созданные искусственно;

8) линзы пресных вод реликтового происхождения (сюда помимо линз реликтового происхождения условно относятся также линзы, источники питания которых установлены недостаточно полно; например, крупные подпесчаные линзы типа Ясханской).

Линзы пресных вод, перечисленные в пунктах 1—7, можно выделить в одну большую группу, характеризующуюся тем, что в их формировании основную роль играет современное питание. Линзы пресных вод, выделенные в пункте 8, характеризуются тем, что современное питание способствует лишь сохранению линзы.

Питание линз или носит периодический характер, или является более или менее постоянным.

Линзы различаются также и по размерам. Наряду с мелкими линзами, площадь которых составляет не более  $1 \text{ км}^2$ , а мощность пресных вод — 3-6 м, известны крупные линзы, мощность пресных вод в которых достигает 30—50 м, а площадь распространения более  $100 \text{ км}^2$ .

Большинство из перечисленных выше типов линз приурочено к южным районам европейской части СССР, Казахстану и Среднеазиатским республикам, где линзы пресных вод являются важным, а подчас и единственным источником питьевого водоснабжения.

Линзы относительно небольших размеров, как, например, подтакрырные и подлиманные, имеют местное значение; их целесообразно эксплуатировать для нужд сельского хозяйства и в первую очередь для нужд животноводства. На базе крупных линз (большие подпесчаные и подрусловые линзы) могут сооружаться водозаборы для централизованного водоснабжения районных центров и промышленных объектов.

Одними из наиболее распространенных являются подрусловые линзы, широко развитые и используемые в Узбекистане и Восточной Туркмении. Подрусловые линзы формируются там вдоль рек и каналов за счет донной и береговой фильтрации пресных поверхностных вод в соленые грунтовые воды. Образование линзы происходит при пересечении каналом или рекой пород с относительно хорошими фильтрационными свойствами (пески). Если песчаные отложения имеют значительную протяженность по течению реки, то параллельно руслу или примыкая к нему, образуется полоса пресных подземных вод. Ширина полосы пресных вод обычно составляет 0,5—2,0 км. Мощность пресных вод в крупных линзах достигает 30—40 м, а в среднем равна 15—25 м.

Баланс пресных вод линзы складывается следующим образом. Поступление пресных вод в толще происходит за счет фильтрации из реки (канала); расход пресных вод осуществляется вследствие испарения, диффузии и механического смешения пресных вод с солеными. На определенном расстоянии от реки, где боковой приток пресных вод уравнивается испарением, диффузией и смешением, формируется граница линзы. На формирование границы пресных и соленых вод в разрезе в значительной мере сказывается также различие в удельных весах пресной и соленой воды.

Вблизи поверхностных водотоков грунтовые воды залегают очень близко от земной поверхности—на глубине 1—3 м. Поэтому основную роль в расходовании пресных вод играет испарение. Питание подрусловых линз является постоянным, хотя и несколько неравномерным, если линза формируется под крупными каналами и реками, из которых инфильтрация поверхностных вод происходит в течение всего года. Питание может быть периодическим, если линзы приурочены к небольшим каналам и рекам, в которых расход в зимнее время резко сокращается или вообще отсутствует.

Фильтрационные свойства пород в плане и разрезе в зоне пресных вод обычно характеризуются повышенными показателями. В ряде случаев отмечается резкое ухудшение фильтрационных свойств в зоне соленых вод, т. е. в нижней части разреза.

Большой интерес для народного хозяйства в связи с возможностью организации централизованного водоснабжения представляют крупные линзы пресных вод, приуроченные к песчаным образованиям, обычно под дюнами (подпесчаные линзы), и разведанные за последнее время в Туркмении (Ясханская, Балкуинская, Восточно-Зангузская линзы и др.). Эти линзы содержат огромные статистические запасы пресных вод. В вопросе о происхождении крупных подпесчаных линз пока еще нет достаточной ясности, причем не исключено, что крупные линзы являются реликтовыми образованиями («Линзы пресных вод пустыни». Изд. АН СССР, 1963).

Наиболее изученной в настоящее время является Ясханская подпесчаная линза пресных вод, эксплуатация которой уже начата. Эта линза занимает почти всю центральную часть Приузбойских Каракумов (Шевченко, 1959). Площадь ее в пределах контура с минерализацией вод до 1 г/л составляет порядка 2000 км<sup>2</sup>, а средняя минерализация воды внутри этого контура 0,3—0,5 г/л. Мощность пресных вод в центральной части линзы исчисляется десятками метров. Наибольшая вскрытая мощность пресных вод равна 70—80 м.

Весьма распространены также подтакырные линзы, особенно широко развитые в Туркмении. Формирование их обусловлено сосредоточенной инфильтрацией атмосферных осадков, скапливающихся в понижениях такыра. Питание подтакырных линз носит периодический характер, причем основное пополнение запасов этих линз происходит в весенний период. Атмосферные осадки инфильтруются на сравнительно небольшой площади, поэтому питание подтакырных линз можно считать концентрированным.

По условиям питания к подтакырным линзам близки подлиманные линзы, распространенные на Черных землях и используемые для нужд животноводства. Для всех линз пресных вод характерно наличие переходной зоны от пресных вод к соленым, в пределах которой минерализация постепенно изменяется от минерализации пресной воды до наибольшей минерализации соленой воды.

В разрезе смена пресных вод солеными происходит на небольшом интервале, исчисляемом метрами. В плане переходная зона может достигать нескольких сотен метров и даже километров (для крупных линз) в результате гидродинамического смешения пресных и соленых вод.

Важно обратить внимание, что в условиях аридных зон, характеризующихся дефицитом пресных вод, использование слабо минерализованных вод переходной зоны в смешении с пресными водами линзы должно происходить таким образом, чтобы минерализация смеси не превышала допустимую норму. Это может существенно увеличить эксплуатационные запасы подземных вод, пригодных для водоснабжения.



# ВЫБОР РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ЛИНЗ ПРЕСНЫХ ВОД

## Выбор расчетной схемы для оценки эксплуатационных запасов линз пресных вод

Основой оценки эксплуатационных запасов линз пресных вод являются условия их формирования и метод эксплуатации. Как было показано выше, линзы пресных вод характеризуются весьма разнообразными условиями питания. По этим признакам большинство линз может быть разделено на две группы.

К первой группе относятся линзы, сформировавшиеся за счет современного питания.

Вторая группа включает линзы, в образовании которых роль современного питания сравнительно невелика. Условно они могут быть названы линзами реликтового типа.

В первой группе можно выделить две подгруппы, отличающиеся между собой по условиям питания. Линзы первой подгруппы характеризуются питанием с поверхности в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков, причем питание может осуществляться или на всей площади линзы, или на некоторой ее части (линзы инфильтрационного питания).

Линзы пресных вод второй подгруппы характеризуются наличием линейного контура питания.

Каждая из указанных подгрупп может быть разбита на два типа:

- а) линзы с периодическим питанием и
- б) линзы с постоянным питанием.

Следует иметь в виду, что типизация линз производится по характеру преобладающего питания.

Линзы пресных вод, относящиеся к первой подгруппе, характеризуются широким распространением и образуются не только в условиях аридного климата, но и в районах с обильными осадками. В этой подгруппе наибольшим развитием пользуются линзы с периодическим питанием, а именно: подтакырные, лиманные, подпесчаные, островные, дюнные линзы и линзы, формирующиеся в орошаемых районах. Сюда же могут быть отнесены и некоторые типы линз, формирующиеся в предгорных областях за счет поверхностного стока.

Ко второму типу первой подгруппы могут быть отнесены, по-видимому, линзы конденсационного питания.

Линзы пресных вод второй подгруппы формируются вдоль русел рек и каналов (подрусловые линзы). Наибольшее развитие имеют линзы пресных вод первого типа, т. е. линзы с периодическим питанием. Сюда относятся линзы, образующиеся вдоль небольших каналов и рек в условиях резко изменяющегося расхода воды в их руслах, а в отдельных случаях и полного прекращения питания.

Второй тип этой подгруппы включает линзы, формирующиеся вдоль крупных каналов и рек со сравнительно небольшими изменениями расходов. К этому типу могут быть отнесены и линзы, питание которых происходит в предгорных областях за счет подземного стока пресных вод, внедряющихся в соленые воды, а также линзы, образующиеся вдоль морских побережий.

Ко второй группе могут быть отнесены крупные линзы пресных вод, современное питание которых невелико по сравнению с естественными запасами. Вообще говоря, такие линзы или находятся в состоянии относительного равновесия или же постепенно уменьшаются в размерах. Неравновесное состояние линз при их стягивании обусловлено тем, что расход пресных вод вследствие процессов испарения, гидродинамического смешения и диффузии превышает питание линзы.

Эксплуатационные запасы линз пресных вод определяются их естественными ресурсами и естественными запасами. Для линз пресных вод первой группы основную роль играют естественные ресурсы: питанием водозабора за счет естественных запасов в большинстве случаев можно пренебречь.

Для линз пресных вод современное питание имеет основное значение, естественные запасы могут рассматриваться как резервные, частичное использование которых возможно в периоды отсутствия питания.

Для линз пресных вод второй группы питание водозабора может обеспечиваться в значительной мере за счет сработки естественных запасов. Для крупных подпесчаных линз современное питание будет иметь второстепенное значение, но и оно должно учитываться при оценке эксплуатационных запасов линз пресных вод.

В большинстве случаев гидрогеологические условия линз пресных вод можно представить двумя основными расчетными схемами: 1) линзы пресных вод в неограниченном пласте; 2) линзы пресных вод в полуограниченном пласте с линейным контуром питания. Обе схемы могут быть рассмотрены в условиях отсутствия и наличия плановой неоднородности водовмещающих пород.

Литологические разрезы водоносных толщ пород, вмещающих линзы пресных вод, характеризуются значительным разнообразием, но в большинстве случаев их можно свести к двум схемам — однослойный и двухслойный пласт.

По условиям контактирования пресных вод с солеными в плане могут быть выделены: 1) пресные воды, оконтуренные солеными со всех сторон, и 2) пресные воды, ограниченные солеными частично.

По условиям залегания линзы в разрезе могут выделяться: 1) линза, залегающая полностью на соленых водах; 2) линза, залегающая частично на соленых водах и частично на водоупоре, и 3) линза, залегающая в основном на водоупоре. Следует отметить, что во многих случаях, когда пресные воды подстилаются солеными, последние бывают приурочены к породам с худшими фильтрационными свойствами по сравнению с породами в зоне пресных вод.

Система пресные — соленые воды, строго говоря, является неоднородной и характеризуется различными удельными весами и вязкостями. Однако это различие физических параметров пресной и соленой воды в большинстве случаев настолько незначительно, что в приближенных расчетах им можно пренебречь и рассматривать пресные и соленые воды как однородную жидкость.

### **Основные положения по оценке эксплуатационных запасов линз пресных вод**

Важнейшим фактором, определяющим эксплуатационные запасы линз пресных вод, является обеспеченность водозаборов питанием пресными водами на весь период эксплуатации.

Питание водозаборов, эксплуатирующих пресные воды линз, может осуществляться как за счет возобновляемых, так и за счет естественных запасов.

В разных условиях и в зависимости от размеров линз пресных вод, а также величины и характера водоотбора роль естественных ресурсов и естественных запасов в питании водозаборов будет различной. При этом следует иметь в виду, что естественные ресурсы пресных вод линз могут возрастать в процессе эксплуатации за счет уменьшения транспирации и испарения с депрессионной поверхности грунтовых вод или же за счет подпитывания со стороны водоемов и водотоков. Специфика линз пресных вод заключается в том, что в процессе отбора пресной воды возможно подсосывание соленых вод как снизу, так и со стороны боковых границ линзы.

Поскольку вертикальные размеры линз во много раз меньше их горизонтальных параметров, подтягивание соленых вод снизу происходит значительно быстрее, чем со стороны боковых границ. Для предотвращения вторжения соленых вод необходимы защитные мероприятия. Подтягивание соленых вод снизу можно исключить спаренной откачкой (Бабушкин, Глазунов, Гольдберг, 1962; Бабушкин, Глазунов, Шевченко, 1958, 1960). Аналогичным образом осуществляется защита против подтягивания соленых вод сбоку.

Однако, если при подсосывании соленых вод (снизу или сбоку) минерализация отбираемой смешанной воды в течение всего срока эксплуатации водозабора не превысит допустимую норму, то отпадает необходимость в таких защитных мероприятиях. Таким

образом, вопрос о способе эксплуатации линзы с защитой от подсосывания соленых вод или без защиты, а следовательно, и оценка эксплуатационных запасов пресных вод должны решаться с учетом подтягивания соленых вод и прогноза изменения качества отбираемой воды.

При оценке эксплуатационных запасов линз пресных вод определенное значение имеет намечаемый режим работы водозаборов (постоянный отбор воды или периодический) и минерализация пресных и соленых вод, в особенности, как уже отмечалось, характер изменения минерализации воды в переходной зоне.

Для засушливых областей должны быть известны требования к питьевой воде, так как здесь в ряде случаев приходится эксплуатировать воду с несколько повышенной минерализацией. При наличии указанных данных может быть осуществлен прогноз изменения минерализации отбираемых вод и решен вопрос о необходимости защиты водозаборов от подсосывания соленых вод снизу или с боков линзы (Бабушкин, Глазунов, Гольдберг, 1962). При прочих равных условиях эксплуатационные запасы, подсчитанные из условия недопустимости подсосывания соленых вод, могут быть отнесены к высоким категориям (А и В), а эксплуатационные запасы, подсчитанные с учетом подсосывания соленых вод, но при условии, что минерализация смеси не превысит допустимую норму, — к низким категориям (С). Эти положения являются общими для всех типов линз.

Ниже кратко остановимся «а некоторых особенностях оценки запасов линз инфильтрационного питания и подрусловых линз.

### **Линзы инфильтрационного питания**

Как уже отмечалось, линзы этого типа характеризуются в основном периодическим питанием, осуществляющимся в течение непродолжительного времени (несколько недель и реже месяцев). Кроме того, в засушливых областях во многих случаях питание этих линз в течение нескольких лет подряд (2—3 года) может отсутствовать вообще или резко уменьшаться. В связи с этим эксплуатационные запасы пресных вод указанных линз для централизованного водоснабжения должны определяться исходя из условия, что в течение 2—3 засушливых лет питание водозабора будет осуществляться за счет сработки естественных запасов.

При охарактеризованных условиях невозможно ориентировать использование мелких линз пресных вод инфильтрационного питания (площадью до 1 км<sup>2</sup>) для централизованного водоснабжения даже небольших населенных пунктов. Мелкие линзы могут служить лишь объектом эксплуатации с периодическим отбором пресных вод. Для таких линз среднегодовой отбор воды не должен превышать среднегодового питания линзы. Эксплуатация небольших линз пресных вод может осуществляться путем последовательного ввода в работу отдельных водозаборов (колодцев, скважин) с временным прекращением их работы после того, как минерализация откачиваемой воды вследствие подсоса соленых вод достигает предельной нормы.

Линзы инфильтрационного питания средних размеров (площадь линзы исчисляется несколькими квадратными километрами) могут представить интерес для централизованного сельскохозяйственного водоснабжения и обеспечения водой небольших промышленных предприятий с общей производительностью водозаборов до десятков литров в секунду. Верхним пределом эксплуатационных запасов таких линз является средняя многолетняя величина питания линзы. Эксплуатационные запасы пресных вод линз определяются с учетом положения динамического уровня воды в водозаборах и возможного изменения минерализации отбираемой воды в засушливые годы. В засушливые годы питание водозаборов будет осуществляться в основном за счет сформировавшихся на линзе естественных запасов пресных и солоноватых вод к началу засушливого времени. В этот период целесообразно по согласованию с санитарными органами допустить к употреблению воду несколько повышенно минерализации в сравнении с кондиционной, иначе эксплуатационные запасы пресных вод окажутся крайне ограниченными.

Крупные линзы пресных вод, занимающие площади в десятки и сотни квадратных

километров, пригодны для централизованного водоснабжения с расходом водозаборов в сотни метров в секунду. На таких линзах отбор воды может существенно превышать возобновляемые запасы пресных вод, т. е. питание водозаборов может базироваться не только на возобновляемых ресурсах пресных вод, но и в значительной мере на статических запасах пресных и солоноватых вод. Методика оценки эксплуатационных запасов крупных линз пресных вод подробно изложена в некоторых работах (Бабушкин, Глазунов, Гольдберг, 1962; Бабушкин, Глазунов, Шевченко, 1958; «Линзы пресных вод пустыни» Изд. АН СССР, 1963).

### Линзы пресных вод вблизи каналов и рек (подрусловые линзы)

При оценке эксплуатационных запасов линз пресных вод следует учитывать наличие двух основных схем связи грунтовых вод с каналами или двух режимов фильтрации:

1) свободного режима фильтрации, когда дно канала настолько заилено, что потери на фильтрацию осуществляются путем дождевания из канала. Такие условия возможны также и в случаях, когда канал протекает в слое относительно слабо проницаемых пород, покрывающих хорошо проницаемые водоносные породы, к которым приурочены грунтовые воды, и

2) подпертого режима фильтрации, характеризующегося прямой гидравлической связью грунтовых вод с каналом, в котором поддерживается более или менее постоянный напор.

Для первой схемы фильтрации (свободный режим) при расчете производительности водозабора можно схематизировать канал в виде линии с постоянным расходом. Величина этого расхода находится по материалам гидрометрических определений на створах (потери на единицу длины канала представляют собой отношение разности расходов по створам к расстоянию между ними), скорректированных по данным наблюдений за режимом грунтовых вод в течение не менее года.

В условиях свободного режима фильтрации в однородном пласте расчет водозабора может быть приближенно произведен путем наложения на естественный поток, сформировавшийся под влиянием канала, потока от намечаемого водозабора. Если отсчет понижения уровней вести относительно свободной поверхности потока, сформировавшейся под действием канала, то рассчитывать производительность водозабора можно как для неограниченного однородного водоносного пласта.

Важно учитывать в расчете, что каналы, в особенности разводящие, работают в году 6—8 месяцев. Во время прекращения работы канала питание водозабора будет осуществляться лишь за счет использования статических запасов линзы. Очевидно, в это время начнется снижение уровня воды в водозаборах и продвижение к ним границы пресных и соленых вод. Если известен режим питания грунтовых вод из канала, то снижение уровня воды в водозаборе после прекращения работы канала может быть определено по следующей формуле, действительной при условии, что на большей части линзы пресные воды располагаются на водонепроницаемой подошве:

$$s = s_a + \frac{q}{k \cdot h_{cp}} [V a T - V a (T - t_1)] \cdot \left[ R \left( \frac{d}{2V a T} \right) - R \left( \frac{d}{2a V a (T - t_1)} \right) \right], \quad (XXI, 1)$$

где  $S_B$  — понижение уровня в водозаборе, работающем при отсутствии воды в канале;

$d$  — расстояние от водозабора до канала;

$T$  — период времени между предыдущим и последующим пуском воды в канал (приближение можно принимать  $T = 365$  суток);

$t$  — продолжительность работы канала в году;

$q$  — потери воды из канала на единицу его длины;

$k$  — коэффициент фильтрации водоносных пород;

$h_{cp}$  — средняя мощность водоносного горизонта за период прекращения работы канала;

$a = \frac{K * h_{cp}}{\mu}$  - коэффициент урнепроводности;

$Ra$  — функция, определяемая по графику (рис. 43).

Для линейного ряда скважин большой длины, расположенного параллельно каналу, величина  $S_B$  рассчитывается по следующей формуле:

$$S_B = \frac{Q}{k * h_{cp} * \sigma} * (0.56 + \frac{\sigma}{2\pi} * \ln \frac{\sigma}{2\pi r_0}), \quad (XXI, 2)$$

Где  $Q$  – дебит скважины ряда;

$\sigma$  – расстояние между скважинами в ряду;

$r_0$  – радиус скважины.

Для второй схемы фильтрации (подпертый режим и условие постоянства напора на канале) методика расчета водозабора в настоящее время достаточно разработана (Бочеввер и Веригин, 1961), причем определение величины водозабора производится в условиях установившегося движения. Заметим лишь, что, когда дно канала заилено, но разрыва потока не происходит и степень кольматации в процессе работы водозабора существенно не возрастает, то рассчитывать водозабор можно обычными методами. Но для учета влияния на дебит водозабора сопротивления в зоне кольматации пород в расчет следует ввести дополнительное фильтрационное сопротивление потока, которое, по предложению В.М. Шестакова (1961 г.), учитывается путем введения дополнительного расстояния водозабора от канала или реки.

Величина этого дополнительного сопротивления должна быть определена по данным специальных полевых гидрогеологических работ.

При близком расположении водозабора от канала возможно увеличение сопротивления ложа канала под влиянием его кольматации.

В настоящее время не имеется необходимой методики для прогноза этого явления. Но так как влияние кольматации на производительность водозабора может сказаться существенным, то приближенная оценка его производится по данным длительных полевых опытов и наблюдений.

В заключение отметим следующее:

1. Эксплуатационные запасы подрусловых линз не должны превышать величины питания в естественных условиях.

2. Вследствие испарения расход естественного потока (питания) пресных вод на границе линзы меньше, чем вблизи канала. Поэтому в качестве верхнего предела эксплуатационных запасов пресных вод подрусловой линзы следует брать величину расхода пресных вод из канала (реки) в средней части линзы.

3. При расчете эксплуатационных запасов пресных вод необходимо учитывать следующее:

1) дебиты водозаборов не должны превышать величины фильтрационного потока из канала, рассчитанного по средней части линзы;

2) понижения в скважинах не могут быть больше допустимых;

3) минерализация отбираемой воды (с учетом подсосывания соленых вод) в течение всего срока эксплуатации водозабора не должна превышать установленную предельную норму.

### Прогноз подтягивания соленых вод снизу

При определенных соотношениях мощностей и минерализации пресных и соленых вод эксплуатация пресных вод возможна без каких-либо мероприятий по защите от подсосывания соленых вод снизу, если, например, максимальная величина минерализации

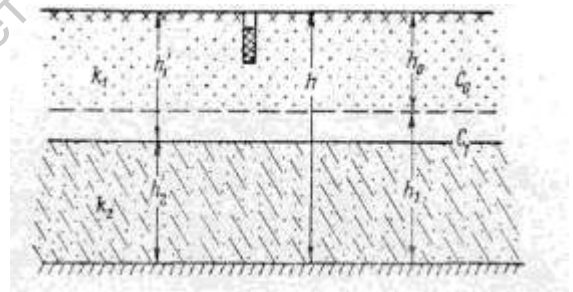


Рис.43. К расчету предельных минерализаций в неоднородном пласте

смещения меньше допустимой. Наибольшая возможная минерализация воды ( $C_{\max}$ ), забираемая скважиной или колодцем, равна (Бабушкин, Глазунов, Гольдберг, 1962):

1. В однородном пласте:

$$C_{\max} = C_1 - (C_1 - C_0) * \frac{h_0}{h_1}, \quad (\text{XXI, 3})$$

2. В неоднородном пласте (см.рис.43):

а) граница соленых вод проходит в верхнем слое с коэффициентом фильтрации  $k_1$ :

$$C_{\max} = C_1 - (C_1 - C_0) * \frac{h_0 * k_1}{h * k}; \quad (\text{XXI, 4})$$

б) граница соленых вод проходит в нижнем слое с коэффициентом фильтрации  $k_2$ :

$$C_{\max} = C_1 + (C_1 - C_0) * \frac{k_2 * h_1}{k * h}, \quad (\text{XXI, 5})$$

Где  $C_1$  и  $C_0$  – минерализация соответственно соленых и пресных вод, г/л;  
 $h$ ;  $h_0$  и  $h_1$  – общая мощность водоносного пласта, мощность пресных вод и мощность соленых вод, м;

$h_1'$  и  $h_2'$  - мощность слоев с коэффициентами фильтрации, м/сутки;

$k = \frac{h_1' * k_1 + h_2' * k_2}{h}$  - средневзвешенный коэффициент фильтрации водоносного

пласта.

Если максимальная минерализация воды окажется больше допустимой нормы, то необходим прогноз подтягивания соленых вод и изменения минерализации воды во времени.

В случае, когда мощность соленых вод значительно больше мощности пресных вод, указанный прогноз производится по следующим формулам (Гольдберг, 1962):

1. Колодец, вскрывший дном слой пресных вод (рис.44).

Время ( $T$ ) начала подсосывания соленых вод:

$$T = \frac{2\pi m_0}{3Q} (h_0^3 - r_c^3). \quad (\text{XXI, 6})$$

Изменение минерализации отбираемой воды ( $C$ ) во времени ( $t$ ):

$$C = C_1 - (C_1 - C_0) \sqrt[3]{\frac{T}{t}}. \quad (\text{XXI, 7})$$

3. Подтягивание соленых вод к несовершенной скважине (рис.45):

а) время ( $T$ ) начала подсосывания соленых вод:

$$T = \frac{2\pi m_0 (h_0 - l)^3}{3Q(1 - \frac{1}{\beta})}; \quad (\text{XXI, 8})$$

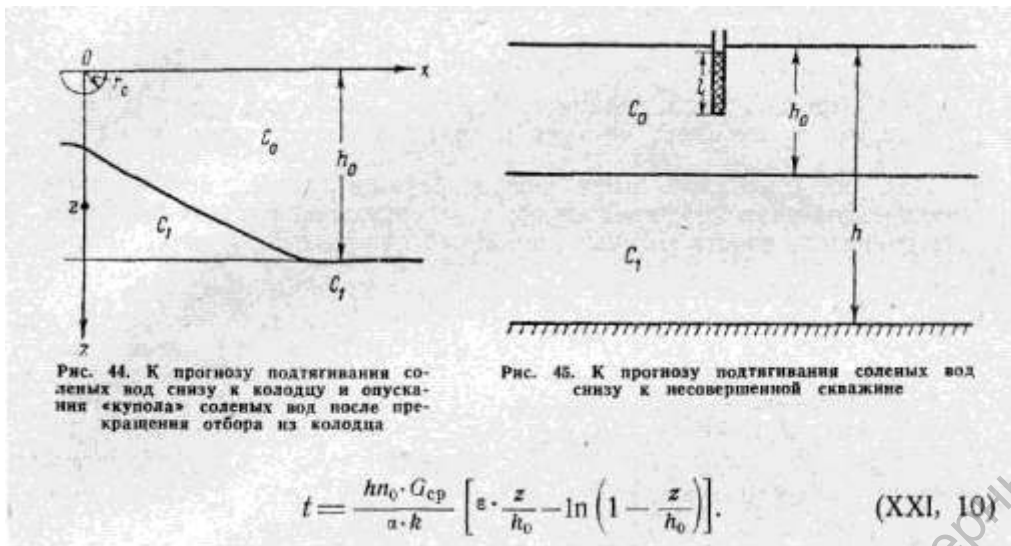
б) изменение минерализации ( $l$ ) отбираемой воды во времени ( $Q$ ):

$$C = C_1 - (C_1 - C_0) \left[ \frac{1}{\beta} + (1 - \frac{1}{\beta}) * \sqrt[3]{\frac{T}{t}} \right]. \quad (\text{XXI, 9})$$

Формула (XXI, 7) и (XXI, 9) действительны при  $t \geq T$ .

Прогноз минерализации воды с учетом переходной зоны от пресных вод к соленым подробно излагается в ранее опубликованной работе (Гольдберг, 1962).

При эксплуатации небольших линз, когда минерализация отбираемой воды быстро достигает допустимой нормы, необходим поочередный пуск водозаборов, что позволит отключать засолившиеся колодцы на время, необходимое для опускания «купола» соленых вод (см. рис. 44). Время опускания «купола» приближенно оценивается по следующей формуле, преобразованной в соответствии с решением Н. С. Пискунова:



В формулах (XXI, 3) — (XXI, 10) приняты обозначения:

$t$  — время, сут. (по смыслу);

$n_0$  — активная пористость;

$Q$  — дебит скважины, колодезю,  $\text{м}^3/\text{сутки}$ ;

$r_k$  — радиус дна колодезю,  $\text{м}$ ;

$l$  — длина фильтра,  $\text{м}$ ;

$\beta$  — коэффициент, характеризующий несовершенство скважины и определяемый по

табл. 28 в зависимости от величины  $\bar{l} = \frac{l}{h}$ , где  $h$  — общая мощность водоносного пласта.

Таблица 28

$\bar{l}$	0,05—0,1	0,1—0,2	0,2—0,4	0,4—0,6	0,6—0,8
$\beta_{\text{ср}}$	2	1,7	1,4	1,3	1,1

$k$  — коэффициент фильтрации,  $\text{м}/\text{сутки}$ ;

$\alpha$  и  $\varepsilon$  — безразмерные коэффициенты, зависящие соответственно от соотношения удельных весов и вязкостей пресной и соленой воды, а следовательно, от минерализации соленой и пресной воды, приближенно значения  $\alpha$  и  $\varepsilon$  в зависимости от минерализации ( $C$ ) соленой воды находятся из табл. 29.

Таблица 29

$C, \text{г}/\text{л}$	До 10	10—20	20—30	30—40
$\alpha, \varepsilon$				
$\alpha$	0,005	0,01	0,02	0,03
$\varepsilon$	0,05	0,1	0,2	0,3

$G_{\text{ср}}$  — безразмерный коэффициент, который с достаточной для практических расчетов точностью может быть принят равным 2,5;

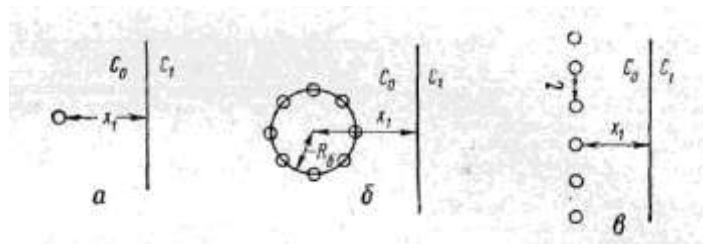
$z$  — конечное положение вершины «купола»,  $\text{м}$  (см. рис. 44).

Остальные обозначения разъяснены выше и показаны на рисунках.

### Прогноз подтягивания соленых вод сбоку для линз инфильтрационного питания и крупных подпесчаных линз

Как уже отмечалось выше, указанные типы линз схематизируются ограниченной площадью пресных вод в условиях неограниченного в плане водоносного пласта соленых вод. Ниже приводятся формулы, позволяющие оценить время начала подсосывания

соленых вод ( $\Gamma$ ) и изменение минерализации воды во времени ( $t$ ) для некоторых видов водозабора в условиях однородного пласта.



**Рис. 46. К прогнозу подтягивания соленых вод сбоку в линзах инфильтрационного питания и в крупных подпесчаных линзах:**

$a$  — к одиночному водозабору;  $b$  — к круговой батарее скважин;  $в$  — к линейному ряду скважин

1. Одиночный водозабор (рис. 46,  $a$ ) или группа скважин, сконцентрированных на сравнительно небольшой площади (Бабушкин, Глазунов, Гольдберг, 1962; Гольдберг, 1962<sub>1</sub>; Сборник ВСЕГИНГЕО, 1963, № 23);

$$T = \frac{\pi n_0 h x_1^2}{Q}; \quad (\text{XXI, 11})$$

а) время начала подсосывания соленых вод:

$$C = C_0 + \frac{C_1 - C_0}{\pi} \arccos \sqrt{\frac{T}{t}}. \quad (\text{XXI, 12})$$

б) изменение минерализации воды во времени

2. Кольцевая батарея скважин (круговая галерея) (рис. 46,  $b$ ):

а) время начала подсосывания соленых вод:

$$T = \frac{\pi n_0 h}{Q} (x_1^2 - R_0^2); \quad (\text{XXI, 13})$$

б) изменение минерализации воды во времени (всей батарее скважин в целом):

$$C = C_0 + \frac{C_1 - C_0}{\pi} \arccos \frac{x}{\sqrt{\frac{Qt}{\pi n_0 h} + x_c^2}}. \quad (\text{XXI, 14})$$

Линейный ряд скважин (рис. 46,  $в$ ):

а) время начала подсосывания соленых вод:

$$T = \frac{2n_0 h l^2}{Q\pi} \left( \frac{\pi x_1}{l} - 0,7 \right); \quad (\text{XXI, 15})$$

б) изменение минерализации воды во времени:

$$C = C_0 + \frac{C_1 - C_0}{\pi} \arctg \sqrt{\frac{l^2 t - l^2 \tau}{l^2 \tau - 1}}. \quad (\text{XXI, 16})$$

Формулы (XXI, 12) и (XXI, 16) действительны при  $t \geq T$ .

Методика прогноза изменения минерализации с учетом переходной зоны приводится в специальной литературе (Бабушкин, Глазунов, Гольдберг, 1962; Гольдберг, 1962<sub>1</sub>, 1963<sub>2</sub>).

### Прогноз подтягивания соленых вод сбоку в подрусловых линзах

Подрусловые линзы схематизируются в виде полосы пресных подземных вод, с одной стороны примыкающих к линейному контуру питания (река, канал), а с противоположной стороны контактирующих с солеными водами. В разрезе пресные воды предполагаются залегающими на водоупоре.



Подтягивание соленых вод произойдет лишь в том случае, если граница соленых вод попадает в область питания водозабора. Условиями, при которых подсосывания соленых вод можно не опасаться, являются:

а) для одиночного (или площадного концентрированного) водозабора

$$L > \sqrt{d^2 + \frac{Qd}{\pi hki}} - d; \quad (\text{XXI, 17})$$

б) для линейного ряда скважин

$$L > \frac{l}{2\pi} \operatorname{arctg} h \left( \frac{\operatorname{sh} \frac{2\pi d}{l} + \frac{\pi k h i}{Q} \operatorname{ch} \frac{2\pi d}{l}}{\frac{h i l k}{Q}} \right) - d, \quad (\text{XXI, 18})$$

где  $L$  — расстояние от водозабора до границы соленых вод, м;

$d$  — расстояние от водозабора до реки (канала), м;

$Q$  — дебит одиночного водозабора или отдельной скважины ряда,  $\text{м}^3/\text{сутки}$ ;

$h$  — мощность водоносного горизонта, м;

$l$  — расстояние между скважинами в ряду, м;

$k$  — коэффициент фильтрации,  $\text{м}/\text{сутки}$ ;

$i$  — естественный уклон потока на границе линзы.

Если условия (XXI, 17) и (XXI, 18) не соблюдаются, то в процессе эксплуатации пресных вод возможно подсосывание соленых вод и изменение минерализации отбираемой воды. Приближенный прогноз этих явлений производится по следующим зависимостям (Гольдберг, 1963<sub>1, 2</sub>).

1. Подтягивание соленых вод к одиночному водозабору (рис. 47, а)

а) время начала подсосывания соленой воды ( $T$ ) равно:

$$T = \frac{\pi n_0 d^2 h}{3Q} \left[ 2 + \left( \frac{x_1}{d} \right)^2 - 3 \frac{x_1}{d} \right]; \quad (\text{XXI, 19})$$

б) максимальная возможная минерализация отбираемой воды:

$$C_{max} = C_1 - \frac{C_1 - C_0}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{d \sqrt{x_1^2 - d^2}}{d^2 - x_1^2}, \quad (\text{XXI, 20})$$

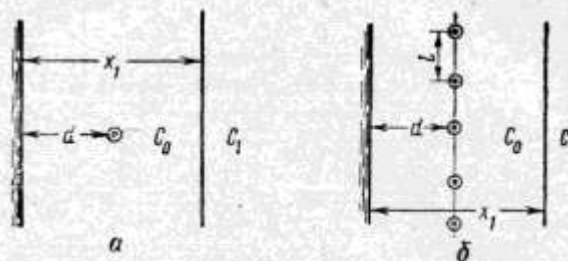
где значение угла  $\varphi = \operatorname{arctg} \frac{d \sqrt{x_1^2 - d^2}}{d^2 - x_1^2}$  берется из второй четверти.

Изменение минерализации ( $C$ ) воды во времени ( $t$ ) рассчитывается по формуле

$$t = \frac{2\pi n_0 d^2 h}{Q} \left( 1 - \frac{x_1}{d} - \left[ \pi \frac{C_1 - C}{C_1 - C_0} - \operatorname{arcsin} \left( \frac{x_1}{d} \sin \pi \frac{C_1 - C}{C_1 - C_0} \right) \right] \right) \times \operatorname{cosec}^2 \left( \pi \frac{C_1 - C}{C_1 - C_0} \right). \quad (\text{XXI, 21})$$

Рис. 47. К прогнозу подтягивания соленых вод в подрусовых линзах:

а — к одиночному водозабору; б — к линейному ряду скважин



При пользовании формулой (XXI, 19) необходимо иметь в виду следующее:

а) с изменением  $C$  от  $C_0$  до  $C_{max}$  угол, определяемый арксинусом, берется из второй четверти:

$$\frac{\pi}{2} < \arcsin \left( \frac{x_1}{d} \sin \pi \frac{C_1 - C}{C_1 - C_0} \right) < \pi;$$

б) при значении  $C = C_{max}$ :

$$\arcsin \left( \frac{x_1}{d} \sin \pi \frac{C_1 - C}{C_1 - C_0} \right) = \frac{\pi}{2};$$

в) при изменении  $C$  от  $C_{max}$  до  $C_0$  угол берется из первой четверти:

$$0 < \arcsin \left( \frac{x_1}{d} \sin \pi \frac{C_1 - C}{C_1 - C_0} \right) < \frac{\pi}{2}.$$

2. При работе линейного ряда скважин (рис. 47, б) время подтягивания соленых вод определяется по формуле

$$T = \frac{n_0 h l}{Q} \cdot \frac{1}{\operatorname{sh} \frac{2\pi d}{l}} \cdot \left[ \frac{l}{2\pi} \left( \operatorname{sh} \frac{2\pi x_1}{l} - \operatorname{sh} \frac{2\pi d}{l} \right) - (x_1 - d) \cdot \operatorname{ch} \frac{2\pi d}{l} \right], \quad (\text{XXI}, 22)$$

где  $l$  — расстояние между скважинами в ряду.

Формулы для прогноза изменения минерализации отдельной скважины ряда здесь не приводятся из-за их громоздкости. Приближенно (с «запасом») изменение минерализации можно рассчитать по формуле (XXI, 16) для ряда скважин в неограниченном бассейне подземных вод, при этом входящее в выражение время начала подсосывания соленых вод определяется по формуле (XXI, 22).

Следует подчеркнуть, что все выводы и формулы, относящиеся к расчету времени подтягивания соленых вод и прогнозу изменения минерализации в случае водозабора у реки, действительны лишь при условии, что расход водозабора полностью обеспечивается за счет питания из реки (канала).

## ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛИНЗ ПРЕСНЫХ ВОД

### Задачи и направления гидрогеологических исследований линз пресных вод

Комплекс геологических исследований, осуществляемых при разведке подземных вод вообще, сохраняется и при изучении линз пресных вод. Однако особенности формирования линз, гидрогеологические условия их залегания, распространение, особенности, связанные с эксплуатацией пресных вод линз, обуславливают некоторую специфику поисков пресных вод и гидрогеологических исследований при детальной разведке и в процессе эксплуатации.

Как уже отмечалось, основным условием формирования линз пресных вод инфильтрационного типа является наличие периодического сосредоточенного питания. Это условие формирования линз одновременно является их поисковым признаком.

Сосредоточенное питание в виде инфильтрации атмосферных осадков может возникнуть за счет понижений в рельефе и наличия с поверхности хорошо проницаемых «окоп», причем последние иногда бывают связаны и с положительными формами рельефа (барханные пески). Следует отметить, что само по себе понижение в рельефе не всегда является достаточным условием для возникновения интенсивной инфильтрации. Нередко под понижениями, иногда довольно значительными, пресных вод не обнаруживалось. Это связано с тем, что дно таких понижений (лиманы и падины) бывает выполнено глинистыми отложениями. Однако в большинстве случаев пресные воды приурочены к пониженным участкам рельефа.

Поэтому при поисках линз пресных вод инфильтрационного питания очень важно изучение геоморфологических условий территории и большое значение имеет детальная топографическая съемка масштаба 1 : 1000—1 : 5000. По возможности собраны сведения о колодцах и естественных источниках с пресной водой, а также данные о длительности работы имеющихся колодцев и режиме их эксплуатации. Весьма полезным может оказаться сопоставление площадей, на которых имеются колодцы с пресной водой, с

перспективными участками, выделенными на основании анализа геолого-гидрогеологических условий района.

Важное значение при поисках небольших линз имеют геоботаническая съемка и геофизические работы, в частности электроразведка. По данным геофизических исследований могут быть приближенно выделены площади развития пресных вод и намечены участки для более детальных работ.

Оконтуривание линз целесообразно начинать на участках, по которым имеются сведения о наличии пресной воды (колодцы, источники). Это позволяет уточнить методику поисковых работ, в особенности геофизических исследований.

При поисках и разведке подрусловых линз пресных вод следует помнить, что линзы формируются при пересечении рекой или каналом пород с относительно хорошими фильтрационными свойствами. Поэтому при поисках пресных вод, приуроченных к поверхностным водотокам, так же как и линз инфильтрационного питания, важное значение имеет гидрогеологическая съемка масштаба 1:100 000—1:50 000, позволяющая выявить геологические и гидрогеологические условия исследуемого района, литологию пород в плане и в разрезе и особенно местоположение проницаемых разностей пород. Очевидно, что основной объем дальнейших разведочных работ должен быть сосредоточен на участках, сложенных породами с высокими фильтрационными свойствами.

Таким образом, на стадии поисков производится оконтуривание линз с привлечением в основном геофизических методов и применением небольшого объема буровых работ и пробных откачек. Площадь съемки определяется потребностью в воде и размерами линз.

Стадийность разведочных работ может быть различной в зависимости от размеров линз и потребности в воде. Для малых линз основное значение имеют поисковые работы, которые затем переходят в разведочные работы без подразделения на предварительную и детальную разведку. На крупных линзах сохраняются все стадии работ.

На стадии предварительной разведки уточняются контуры линзы и на основании буровых и опытно-фильтрационных работ выбираются участки расположения водозаборов. На данном этапе существенное внимание уделяется изучению условий питания линзы (см. ниже). Эти работы продолжаются и при детальной разведке.

Работы на стадии детальной разведки осуществляются в основном на участках, выбранных под водозаборы. Виды и объемы работ в основном те же, что и при разведке других месторождений пресных вод. Некоторые специфические особенности разведочных работ на линзах пресных вод освещаются ниже.

В результате разведочных работ должны быть выявлены условия питания линзы, залегания ее в плане и разрезе и получены все гидрогеологические параметры, необходимые для выбора рационального способа эксплуатации. Важное значение имеют наблюдения за режимом подземных вод в районе линз пресных вод, длительность которых должна составить по меньшей мере один год.

Очевидно, что на небольших линзах пресных вод, предназначенных для периодического отбора воды, объем гидрогеологических исследований целесообразно максимально сократить. Для этих линз основной упор должен быть сделан на геофизические и геоботанические методы с доведением до минимума буровых и опытных работ.

На линзах пресных вод средних размеров намечаемых, для постоянного централизованного водоснабжения, необходимо выполнение полного комплекса гидрогеологических работ, причем основное внимание следует уделить изучению их питания, а также возможного изменения его в процессе эксплуатации. Без получения достаточно ясной количественной характеристики питания линз невозможна сколько-нибудь обоснованная оценка их эксплуатационных запасов.

При разведке крупных линз необходимо проведение всего комплекса гидрогеологических исследований, причем количественная оценка питания их может быть осуществлена лишь в первом приближении, так как эксплуатационные запасы линз базируются в основном на естественных запасах пресных вод.

В связи с вышеизложенным можно полагать, что наименьшие затраты на разведку 1 м<sup>3</sup>/сутки пресной воды потребуются на крупных линзах пресных вод, наибольшие затраты — для изучения линз средних размеров; промежуточное положение по этому показателю займут мелкие линзы пресных вод.

При наличии в разрезе прослоев глин, отделяющих пресные воды от соленых, должны быть выяснены размеры и мощность глинистых прослоев. Если пресные воды на всей площади линзы подстилаются водоупорным слоем, ниже которого залегают соленые воды, то необходимы, кроме того, данные о мощности водоупора и его сплошности на территории распространения линзы. Если в водоупорном слое имеются «окна», через которые будет происходить подток соленых вод, то их по возможности необходимо закартировать. Наличие «окон» в ряде случаев устанавливается путем проведения достаточно интенсивных опытных откачек, и с помощью геофизических исследований выявляются участки, где минерализация воды заметно повышается в результате проникновения соленых вод через «окна».

В процессе проведения гидрогеологических исследований на линзах пресных вод с близким залеганием уровня воды от поверхности земли необходимо получить данные, на основании которых можно было бы оценить расход грунтовых вод на испарение в естественных условиях, а также дать оценку уменьшения потерь воды на испарение в процессе эксплуатации.

При расположении водозабора вблизи реки или канала в ходе эксплуатации линзы возможна кольматация русла реки (канала), в связи с этим нужны сведения о содержании взвешенных частиц в речных водах, в особенности во время паводка.

Берега некоторых рек подвергаются быстрому разрушительному действию воды. Береговые водозаборы, сооружаемые в непосредственной близости от таких рек, могут попасть в зону разрушения берегов. Поэтому должны быть собраны данные о средней скорости разрушения берегов для обоснованного выбора места расположения водозабора.

Проницаемость водосодержащих песчаных пород для пресных и соленых вод может отличаться, что обусловлено разной набухаемостью содержащихся в песках глинистых частиц в пресной и соленой среде. В связи с этим фильтрационные свойства пород следует изучать в зоне как пресных, так и соленых вод. Необходимо определение количественного содержания в песках глинистых фракций и их минерального состава.

Значительное внимание в процессе гидрогеологических исследований нужно уделять опытам по определению действительных скоростей потока. Эти материалы могут дать представление об активной пористости пород, величина которой входит в расчетные формулы.

При проектировании водозабора из спаренных скважин необходимо предусмотреть сброс откачиваемых соленых вод. Во избежание «загрязнения» пресных вод сброс соленых вод желательно производить за пределами линзы. Наилучшими коллекторами при сбросе соленых вод могут быть естественные понижения в рельефе, сложенные глинистыми и суглинистыми породами. Размеры и количество таких понижений на поверхности земли следует выбирать с таким расчетом, чтобы приток соленых вод компенсировался испарением со свободной поверхности водоемов. Вопросу отвода соленых вод следует уделять внимание при гидрогеологических работах.

Итак, по результатам гидрогеологических исследований должны быть получены следующие характеристики, необходимые для выбора наиболее рационального способа эксплуатации пресных вод, линзы и оценки их эксплуатационных запасов:

- 1) величина питания в естественных условиях и характер взаимосвязи подземных вод с поверхностными (для подрусловых линз);
- 2) размеры линзы пресных вод (минерализация до 1 г/л) в плане и разрезе;
- 3) общая мощность пресных и соленых вод (до водоупора) в пределах линзы и мощность соленых вод за пределами линзы (в переходной зоне);
- 4) средняя минерализация пресной воды, минерализация соленых вод в разрезе вплоть до водоупора;

5) размеры переходной зоны и характер изменения минерализации соленых вод в переходной зоне;

6) значение коэффициентов фильтрации, коэффициентов водоотдачи (активной пористости) в области пресных и соленых вод и в переходной зоне;

7) содержание глинистого материала в водоносных песках и его состав;

8) содержание взвешенных частиц в водах реки (канала), к которым приурочена линза; степень закольматированности русловых отложений;

9) мощность и распространение глинистого прослоя, отделяющего в разрезе пресные воды от соленых вод, если таковой имеется;

10) фильтрационные свойства береговых отложений;

11) величина испарения грунтовых вод на площади линзы и в переходной зоне.

Гидрогеологическими исследованиями должна быть охвачена вся площадь линзы, включая и ее переходную зону. Но с наибольшей детальностью следует изучить участок проектируемого водозабора.

Изучение режима подземных вод организуется на стадии разведки линзы. Скважины на ней располагаются таким образом, чтобы охарактеризовать участки с различной глубиной залегания уровня грунтовых вод от поверхности земли, с различным характером пород в зоне аэрации и растительного покрова. Вблизи границ линзы скважины оборудуются фильтрами длиной 5—10 м, расположенными наполовину в соленых и наполовину в пресных водах. Наблюдения за положением границы пресных и соленых вод в этих скважинах ведутся методом резистивиметрии. Наиболее часто наблюдения за изменением химического состава подземных вод организуются в переходной зоне, в плане и разрезе.

Постоянные наблюдения за естественным режимом подземных вод желательно начать за 1—2 года до начала эксплуатации линзы. Учитывая, что естественный режим подземных вод вообще и на линзах в частности характеризуется медленными изменениями, наблюдения могут быть достаточно редкими: в периоды отсутствия питания — 1—2 раза в месяц, в периоды питания — ежедневно или через день.

После начала работы водозабора режим подземных вод линзы усложняется. Наибольшие изменения в режиме подземных вод будут иметь место в районе водозаборных скважин. Соответственно наблюдения за режимом подземных вод должны с большей детальностью производиться в районе водозабора и на ближайшем к нему участке контура линзы. Эти работы включают в себя наблюдения:

1) за производительностью водозабора и изменением минерализации отбираемой воды;

2) за положением уровней воды и за минерализацией подземных вод в районе водозабора, а также в районе предполагаемых «окон», через которые возможен подсос соленых вод;

3) за положением уровня воды и границы пресных и соленых вод на ближайшем контуре линзы.

Число наблюдательных скважин и их размещение определяются в зависимости от конкретных гидрогеологических условий линзы.

Следует отметить, что охарактеризованные требования к наблюдениям за режимом грунтовых вод относятся в основном к средним и крупным линзам. Для мелких линз с небольшим отбором воды объем режимных наблюдений может быть значительно меньшим.

Данные наблюдений за режимом подземных вод при эксплуатации линзы после соответствующей обработки позволяют выбрать оптимальную производительность водозаборов, так как в связи со сложностью процессов формирования линз пресных вод питание линз и изменение его в процессе эксплуатации оценивается во время изысканий лишь в первом приближении.

Для уменьшения затрат на режимные наблюдения целесообразно не реже одного раза в год или в два года проводить наблюдения за перемещением границ линзы с помощью геофизических методов.

Чтобы исключить влияние колебаний атмосферного давления на положение уровня воды в скважинах режимной сети, в удалении от водозаборов рекомендуется оборудовать контрольные скважины с контактными электроуровнемерами системы ВСЕГИНГЕО.

### Оценка питания линз, образовавшихся за счет инфильтрации атмосферных осадков

Для линз этого типа (подтакрырные, подлиманые линзы и др.) в первую очередь важно оценить величину среднего многолетнего поверхностного стока; причем главное значение имеет весенний сток, в значительной мере определяющий пополнение линзы пресными водами. Необходимо также установить, какая доля поверхностного стока, поступающего на площадь линзы, инфильтруется в грунт, т. е. требуется определить средний коэффициент инфильтрации поверхностных вод, скапливающихся на площади линзы.

Приближенная методика прогноза стока на такырах в зависимости от количества выпадающих атмосферных осадков разработана Г. Т. Лещинским (Лещинский, 1958).

Питание линзы ( $Q, м^3/год$ ) можно определить по формуле

$$Q_n = 10^3 F h_c \beta \quad (XXI, 23)$$

где  $F$  — площадь водосбора,  $км^2$ ;

$h_c$  — высота слоя стока,  $мм$ ;

$\beta$  — коэффициент инфильтрации.

При определении площади водосбора следует принимать в расчет лишь ту часть площади, с которой сток поверхностных вод направляется на территорию линзы пресных вод.

По Г. Т. Лещинскому, высота слоя стока в период паводка определяется по следующей формуле:

$$h_c = a * XOC * C, \quad (XXI, 24)$$

где  $a$  — коэффициент стока, зависящий в основном от суммы дождевых осадков, интенсивности дождя, запаса влаги до начала дождя в верхнем слое почвы мощностью 0—10  $см$ , водоудерживающей способности почвы, а также рельефа поверхности земли;

$Xoc$  — сумма осадков за период дождя,  $мм$ ;

$C$  — коэффициент, зависящий от площади водосбора.

Согласно исследованиям Г. Т. Лещинского (1958), коэффициент стока  $a$  может быть представлен зависимостью

$$a = f(\varphi, P), \quad (XXI, 25)$$

где  $\varphi$  — произведение суммы осадков дождя на его среднюю интенсивность;

$P$  — предшествующий дождю запас влаги (в  $мм$ ) в слое почвы мощностью до 10  $см$ .

Функция  $a$  для условий, когда сток формируется на практически сухой почве, представлена в работе Г. Т. Лещинского (1958) в виде графиков. Этими графиками можно пользоваться для ориентировочных расчетов стока на участках, сложенных такырными и такыровидными почвами. При оценке стока, вызванного таянием снега на этих почвах, Г.Т. Лещинский рекомендует для определения величины  $a$  пользоваться следующими данными:

Слой осадков от таяния снега, мм	10	15	20	25	30	35	35
Коэффициент стока $a$	0	0,12	0,18	0,24	0,28	0,33	0,40

Полученные кривые для определения значения  $a$  отвечают площади водосбора в 0,007  $км^2$ . С увеличением площади водосбора коэффициент стока  $a$  уменьшается, и это требует внесения поправки в расчет с помощью коэффициента  $C$ , значение которого может быть найдено по следующим данным:

Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Коэффициент С
0,007	1,0
0,01	0,97
0,1	0,68
0,5	0,57
1,0	0,43
5,0	0,35
10	0,26
50	0,20
100	0,13
200	0,11
500	0,07
1000	0,006

Величина коэффициента инфильтрации  $\beta$  может быть определена или непосредственно по данным наблюдений на линзе, или по аналогии с другими линзами.

М. М. Батыршиным на одном из такыров Западной Туркмении были проведены наблюдения за инфильтрацией. Участки скопления вод поверхностного стока (эфемерные озера) были подвергнуты детальной топографической съемке масштаба порядка 1 :500—1:1:1000 с таким расчетом, чтобы после заполнения этих пониженных участков водой можно было бы в них подсчитать объем занимаемый водой, и площадь водной поверхности. Вода из образующихся эфемерных озер расходуется на испарение и инфильтрацию в почву. Так как испарение с открытой водной поверхности может быть подсчитано с достаточной точностью по данным ближайшей метеорологической станции или же по результатам наблюдений на избранном участке работ, то потери на инфильтрацию легко вычисляются, если известно изменение объема воды, заполняющей данное понижение в рельефе. Объем, занимаемый водой, вычисляется на карте по изогипсам рельефа поверхности участка. Проведенные М. М. Батыршиным наблюдения показали, что коэффициент инфильтрации на такырной линзе изменяется от 0,65 до 0,8.

Оценка питания линзы на период проведения изысканий может быть осуществлена и другим способом, который мы для краткости будем называть объемным методом. Суть его сводится к следующему.

Геофизическими методами и по данным наблюдения за режимом подземных вод до паводка устанавливается поверхность грунтовых вод и положение границы пресных и соленых вод, а также размеры переходной зоны. Во время паводка и после него по скважинам ведутся наблюдения как за уровнем грунтовых вод, так и за изменяющимся положением границы пресных и соленых вод. Для этой цели скважины оборудуются достаточно длинными фильтрами (10—15 м) и положение границы пресных и соленых вод фиксируется методом резистивиметрии. Когда по данным скважин граница пресных и соленых вод приближается к максимальному развитию, проводятся повторные резистивиметрические работы. Таким образом удается определить два предельных объема линзы пресных вод. Разность этих объемов характеризует питание линзы за период паводка. Если в течение года было два паводка, то опыт повторяется, и за год определяют два приращения объема линзы. Эти изменения объема линзы характеризуют ее питание пресными водами в течение года.

Наконец, по данным наблюдений за режимом подземных вод в период паводка и после его завершения можно оценить питание линзы гидродинамическим методом, т. е. по расходу потока вблизи периферии линзы пресных вод. Для расчета необходимо знать коэффициент фильтрации пород и мощность зоны пресных вод.

Очевидно, что гидродинамический метод является менее точным по сравнению с охарактеризованным выше объемным способом, так как при определении коэффициента фильтрации на отдельных участках линзы могут быть допущены немалые погрешности,

что прямо скажется на определяемой величине питания линзы пресными водами. Объемный метод лишен этих недостатков, так как при пользовании им требуется знать коэффициент недостатка насыщения пород. Величина его в обломочных породах определяется с небольшой ошибкой.

Следует заметить, что при пользовании гидродинамическим методом в условиях с небольшой глубиной залегания уровня грунтовых вод от поверхности земли (до 3—5 м) следует расстояние между смежными скважинами, участвующими в определении уклона поверхности пресных вод, принимать небольшим. Оно должно быть выбрано с таким расчетом, чтобы на участке между ближайшими друг к другу скважинами испарение с поверхности грунтовых вод было незначительным по сравнению с расходом потока и им можно было бы пренебречь. Иначе в расчете потребуются учесть величину испарения с поверхности грунтовых вод.

Принимая во внимание, что различные методы определения питания линзы характеризуются своими недостатками и положительными сторонами, целесообразно определение питания линзы производить несколькими методами.

Важно иметь в виду, что по данным охарактеризованных выше наблюдений за режимом линзы пресных вод можно оценить питание ее в период наблюдений. Для определения по этим данным минимального и среднего многолетнего питания линзы можно воспользоваться следующим приближенным подсчетом.

Известно, что питание линз в засушливых районах осуществляется в основном в зимне-весеннее время. Поэтому для определения минимального питания линзы следует определить величину зимне-весенних осадков в наиболее засушливые годы и измерить установленное опытным путем питание линзы пропорционально отношению величин зимне-весенних осадков в наиболее засушливый год и в период выполненных наблюдений за питанием линзы. Таким же путем может быть приближенно оценено среднее многолетнее питание линзы, если известны средние многолетние зимне-весенние осадки.

При наличии многолетних наблюдений за режимом подземных вод в данном районе можно установить коррелятивные зависимости между величиной зимне-весенних осадков и питанием грунтовых вод.

### **Оценка питания пресных вод линз у каналов и рек**

При определении питания линз, сформировавшихся вблизи каналов или рек, следует также пользоваться несколькими методами. Одним из методов, применение которого возможно для таких линз, является гидрологический, позволяющий непосредственно оценить потери воды на фильтрацию из канала. С этой целью на канале в пределах линзы пресных вод должно быть создано два-три гидрологических створа для определения расхода воды в канале. Разность расходов между створами дает потери воды на фильтрацию в пределах данного участка канала. Методика этих определений в настоящее время хорошо разработана, и мы здесь на этом вопросе специально не останавливаемся. Необходимо лишь обратить внимание на следующие обстоятельства.

Гидрологические определения расхода на створах с помощью вертушки характеризуются невысокой точностью (погрешность порядка 10—15% и больше). Вследствие этого на каналах с достаточно большими расходами погрешности в оценке этих расходов гидрологическим методом могут оказаться близкими к потерям на фильтрацию из канала между створами. В таких случаях определение расходов на створах с помощью вертушек возможно лишь при:

- 1) повышении точности определений расходов на створах путем увеличения количества точек, в которых замеряются скорости потока в каналах на разных глубинах, и
- 2) увеличении расстояний между створами в случае, когда гидрогеологические условия между створами существенно не изменяются.

Обычно расстояние между створами принимается равным 5 - 10 км. Вопрос о целесообразности применения вертушек для определения расхода на створах должен быть решен в каждом отдельном случае с участием гидрологов.



Точность измерения расхода воды в канале на створах может быть существенно повышена, если для данной цели применить водосливы. Но эти работы при больших расходах воды в каналах связаны с немалыми затратами. Поэтому этот способ целесообразно использовать на распределительных каналах, характеризующихся небольшими расходами, и мало приемлем на магистральных каналах, расходы которых значительны.

Для оценки питания линз у каналов могут применяться охарактеризованные выше объемный и гидродинамический методы.

Объемный метод может найти применение на нешироких линзах пресных вод у каналов, так как в этом случае изменение питания линзы будет заметно сказываться на изменении ее мощности и размеров в плане. В связи с этим и точность определений будет выше. Здесь, так же как и для других линз пресных вод, должны максимально использоваться геофизические методы для определения положения границы пресных и соленых вод и изменения ее во времени. На линзах большей ширины оценить изменение их объема труднее, в связи с чем этот метод в данных условиях может оказаться малоэффективным.

Гидродинамический метод определения расхода потока может применяться независимо от размеров линз пресных вод. Для наблюдения за режимом грунтовых вод целесообразно располагать скважины по створам, перпендикулярным к каналу.

Оценка питания водозаборов на линзах пресных вод у каналов может быть в соответствии с опытом В. П. Волкова и В. А. Гейнца произведена по данным групповой откачки. Она должна быть выполнена с такой производительностью, при которой через некоторое время (1—2 месяца) практически наступает стабилизация уровней воды как в водозаборных, так и в наблюдательных скважинах.

Групповая откачка производится из 3—5 скважин, расположенных в виде ряда, параллельного каналу. Наблюдательные скважины размещают по створам, перпендикулярным каналу. Эти створы располагаются не только в зоне водозабора, но и за его пределами с расчетом построения воронки депрессии на разные периоды времени. Если в процессе групповой откачки при данном дебите достигнута стабилизация уровня воды во всех наблюдательных скважинах и размер образовавшейся воронки депрессии нам известен, то по полученным результатам приблизительно определяется средний расход питания на единицу длины водозабора. Этот метод может быть применен как при отсутствии, так и при наличии прямой гидравлической связи линзы пресных вод с каналом. В последнем случае потери воды на фильтрацию из канала возрастают в процессе работы водозабора, причем групповая откачка в ряде случаев позволяет установить условия образования разрыва потока из канала в водоносный слой.

Следует заметить, что по данным групповой откачки оценка питания линзы из канала в условиях работы водозабора производится с достаточной надежностью, так что результаты этих исследований могут служить базой для отнесения эксплуатационных запасов к высоким категориям.

Групповую откачку целесообразно привязать к периоду, когда горизонт воды в канале занимает примерно среднее положение между максимумом и минимумом, хотя это и не является обязательным.

Если мы располагаем данными о режиме грунтовых вод вблизи канала в течение года и данными о напорных градиентах вблизи канала до начала групповой откачки, то питание линзы, установленное в период групповой откачки, может быть пересчитано с помощью следующей простой зависимости:

$$q_{cp} = q_{от} \frac{i_{cp}}{i_{от}},$$

(XXI, 26)

где  $q_{cp}$  и  $q_{от}$  — среднее питание на единицу длины линзы в течение года и в период откачки;

$i_{cp}$  и  $i_{от}$  — средний напорный градиент потока в течение года и в период откачки.

Следует заметить, что в процессе гидрогеологических исследований на линзах

пресных вод, сформировавшихся у каналов, целесообразна также постановка опытов по увеличению питания линз за счет роста фильтрации вод из каналов в грунтовые воды. Эти мероприятия заключаются в следующем:

1) чистка дна канала и наблюдения за ростом расхода на фильтрацию из канала, а также за уменьшением расхода потерь в результате кольматации дна канала и

2) отвод пресных вод на территорию линзы канавами, прорезающими всю мощность покровных суглинков, если мощность их невелика и исчисляется несколькими метрами; при этом до поступления в эти канавы вода из канала должна отстаиваться в специальных отстойниках.

### **ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ РАЗВЕДКЕ ЛИНЗ ПРЕСНЫХ ВОД\***

Наибольшие трудности в практической деятельности гидрогеологов, занимающихся поисками и разведкой пресных вод в пустынных районах, вызывает поисковая часть задачи. В период поисков требуется найти и оконтурить площадь распространения пресных вод, оценить перспективу и целесообразность постановки на ней гидрогеологических разведочных работ.

Трудности поисков возрастают во много раз, если геологическая и гидрохимическая обстановка в районе поисков известна лишь по аналогии и геологическим соображениям. Расходы материально-технических и денежных средств на поиски с помощью бурения в таких случаях значительно возрастают, а затраченный труд не всегда приносит желаемые результаты. Поэтому все чаще гидрогеологу приходится изыскивать возможности и пути ускорения и удешевления поисковых работ. Для этого в числе других привлекаются и геофизические методы исследований.

Наряду с небольшой относительной стоимостью и высокой производительностью геофизические методы исследований позволяют без бурения ответить на все вопросы, интересующие гидрогеологов в период поисков. Поэтому вполне возможно исключить поисковое бурение и ограничиться минимальным объемом опорно-проверочного или разведочного бурения в стадию предварительной разведки.

В поисковый период геофизические методы можно применять на объектах с любой геологической и гидрогеологической обстановкой. Как бы сложны они ни были, всегда можно подобрать такой комплекс геофизических методов, который сможет дать ответ на поставленные вопросы с максимальным геологическим эффектом.

Геофизическими методами решаются следующие задачи поисков:

1. Выявление зон распространения пресных вод, залегающих среди соленых, и оконтуривание их как по площади, так и в разрезе. В комплексе с данными геологической документации нескольких опорно-проверочных скважин, из которых отбираются и анализируются пробы воды с различных глубин, эта задача расширяется до построения карты минерализации (плотного остатка) подземных вод в эквиваленте какой-либо соли.

2. Выявление области питания линз пресных вод.

3. Определение глубины залегания первого от поверхности водоносного горизонта.

4. Выявление некоторых особенностей геологического строения изучаемой территории (например, конфигурации кровли коренных пород, характера залегания в разрезе определенных возрастных комплексов четвертичных отложений и их литологических характеристик).

5. Поиски погребенных под более молодыми отложениями древних русел рек, содержащих пресные и опресненные воды;

6. Выявление мест фильтрации из каналов и мест дренирования воды в каналы.

7. Выявление в скальных породах трещиноватых и закарстованных зон, в которых содержатся пресные или опресненные воды.

8. Изучение тектонических особенностей коренных пород с определением их преимущественных литологических характеристик и оценкой характера минерализации содержащейся в них воды.

Возможности решения этих задач с помощью геофизических методов базируются на зависимости физических свойств пород от их вещественного состава, физического состояния и особенностей геологического строения изучаемой территории.

В гидрогеологии наибольшее применение находят электроразведочные методы. В зависимости от характера решаемой задачи в период поисков пресных подземных вод применяют метод вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ), электропрофилирование различных модификаций, метод естественных электрических полей (ПС).

## **ГЕОБОТАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПОИСКАХ ЛИНЗ ПРЕСНЫХ ВОД В ПУСТЫНЯХ**

### **Общие сведения о геоботанических исследованиях**

При поисках пресных вод часто используется геоботанический гидроиндикационный метод. Важнейшей теоретической предпосылкой гидроиндикационных исследований является развившееся в последнее время учение о ландшафтах (Берг, 1931; Солнцев, 1948; Исаченко, 1953). Ландшафтом географы называют то природное целое, которое формируется в силу тесных и глубоких взаимосвязей всех природных компонентов: климата, рельефа, горных пород, подземных вод, почв и растительного покрова. Растительность является одним из наиболее заметных компонентов ландшафта.

Растительные сообщества (а иногда и отдельные виды растений), используемые для индикации подземных вод, носят название гидроиндикаторов. Среди них следует различать прямые гидроиндикаторы, распределение которых непосредственно зависит от подземных вод, и косвенные, которые связаны с определенными почвенно-литологическими условиями и в известной мере помогают расшифровать некоторые гидрогеологические особенности.

Прямыми гидроиндикаторами являются в первую очередь фреатофиты — растения с мощной, глубоко проникающей корневой системой, достигающей уровня грунтовых вод. Отчасти ими могут служить трихогидрофиты, т. е. растения, корневая система которых связана с капиллярной каймой грунтовых вод. Наконец, имеется обширная группа растений — омброфитов, живущих за счет влаги атмосферных осадков. Эти растения можно применять лишь в качестве косвенных гидроиндикаторов, а в ряде случаев они вообще не имеют гидроиндикационного значения.

Весьма важным условием успешной гидроиндикации является использование не отдельных видов растений, а целых сообществ, так как растительное сообщество (фитоценоз) дает значительно более достоверные данные о гидрогеологических условиях. Однако применение таких гидроиндикаторов требует значительных геоботанических знаний, поэтому в практике гидрогеологических исследований пока приходится ограничиваться гидроиндикационным использованием отдельных видов растений. При этом очень важно иметь в виду, что тот или иной растительный вид — гидроиндикатор лишь тогда достоверно характеризует определенные гидрогеологические условия, если он присутствует на исследуемом участке в большом ('массовом) количестве.

Как уже было отмечено, геоботанические исследования применяются в основном на стадии поисков, так как с помощью этого метода можно определить ориентировочно площади, на которых подземные воды залегают более или менее близко к поверхности, и до известной степени оценить их минерализацию. Геоботанические исследования при этом могут весьма эффективно использоваться в сочетании с аэрометодами и геофизическими исследованиями.

### **Поиски линз пресных вод в пустынях**

Геоботанические методы получили наиболее значительное применение при поисках линз подземных вод. В разных подзонах пустынной зоны геоботанические признаки, используемые при подобных исследованиях, довольно различны.

В подзоне полупустынь и северных пустынь (Западной и Центральной Казахстан, Нижнее Поволжье, Ногайская степь) широкое распространение имеют линзы, лежащие в песчаных массивах, линзы, располагающиеся под лиманами и лиманообразными понижениями, и кольцеобразные скопления пресных вод по периферии солончаков (особенно в тех случаях, когда последние граничат с песками).

Линзы, лежащие в песчаных массивах северных пустынь, обычно обозначаются сообществами типичных облигатных фреатофилов. Наиболее обычными из них являются следующие: группы деревьев влаголюбивых пород, заросли кустарниковых фреатофилов, сообщества травянистых и полукустарниковых фреатофитов.

Группы, реже рощицы некоторых влаголюбивых древесных пород — ива (род *Salix*), лох (род *Eleagnus*), тополь (род *Populus*) — встречаются по дну и реже по склонам котловин выдувания и часто по окраинам песков (в местах выклинивания вод подпесчаных линз). Эти древесные породы обычно сопровождаются большим количеством влаголюбивых злаков (чаще всего тростника) и разнотравья.

Для поисков пресной воды в песках северных пустынь имеет значение даже появление отдельных экземпляров упомянутых пород, если эти экземпляры достаточно хорошо развиты и не обнаруживают признаков угнетения (низкорослость, суховершинность, слабая олиственность и т. д.).

Воды здесь залегают не глубже 5 м, и минерализация их обычно составляет около 1 г/л; лишь под лохом она может быть несколько повышена (не более 3 г/л).

При использовании в качестве индикаторов групп ив следует обращать особое внимание на то, чтобы развитие их было достаточно мощным и пышным, так как единичные чахлые особи ивы могут существовать на участках с малыми скоплениями пресных вод, не имеющими практического значения.

На аэрофотоснимках участки древесной растительности выделяются отчетливо в виде групп темных, почти черных крапинок; при очень густом стоянии деревьев образуется темное пятно с фестончато изрезанными краями и неясно зернистой структурой, заметной лишь при увеличении изображения до масштаба порядка 1 : 5 000. При аэровизуальных наблюдениях летом деревья хорошо опознаются по округлым кронам и темной зелени, а осенью — по оранжево-желтой характерной окраске, особенно тополя и ивы.

Заросли кустарниковых фреатофитов также являются важными гидроиндикаторами. Наиболее распространенные виды фреатофитов — чингиль (род *Halimodendron*) и тамариксы (род *Tamrix*). Заросли их встречаются в тех же элементах рельефа песков, что и предыдущие гидроиндикаторы.

Чингиль особенно част по окраинам песков, где в местах высачивания вод он образует сплошные чащи в смеси с гигантскими злаками — тростником и чиём.

Воды под кустарниковыми зарослями залегают не глубже 10 м, редко 12 м. Прогноз глубины залегания, если учитывать дополнительные гидроиндикаторы (сопутствующие виды), может быть значительно уточнен: при наличии чия, камыша или хорошо развитых тростниковых зарослей вода располагается не глубже 5 м. При отсутствии их вода чаще залегают на глубине 5—10 м.

Чингилевые заросли связаны с водами, минерализация которых не превышает 3 г/л.

Под зарослями тамариксов минерализация воды сильно варьирует. Разные виды тамариксов могут существовать при резко различной концентрации солей в тех водах, с которыми они связаны. Хотя распознавание отдельных видов для гидрогеолога, не имеющего специальной геоботанической подготовки, затруднительно, но можно указать, что в целом виды, связанные с пресными и слабо солоноватыми водами, имеют обычно темно-зеленую окраску, тогда как тамариксы, произрастающие в местах распространения высокоминерализованных вод, имеют сизый оттенок зелени из-за образования на листьях налета тончайшей соляной пудры, возникающей при высыхании мельчайших капелек рассола, выступающих на поверхности листьев. Это различие легко воспринимается не только при наземном исследовании, но и при аэровизуальных наблюдениях.

Сообщества травянистых и полукустарниковых фреатофитов, обитающих в песках северной полупустыни, очень многочисленны и разнообразны, и мы отметим лишь

наиболее распространенные среди них. К последним должны быть в первую очередь отнесены заросли чагыра, или песчаной полыни, (*Astemisia arenaria*) — крупного полукустарника с красноватыми ветвями и ярко-зелеными мелко рассеченными листьями.

Песчаная полынь очень широко распространена в песках, но так как она является триогидрофитом, то надежным гидроиндикатором ее следует считать лишь тогда, когда она представлена многочисленными пышно развитыми экземплярами.

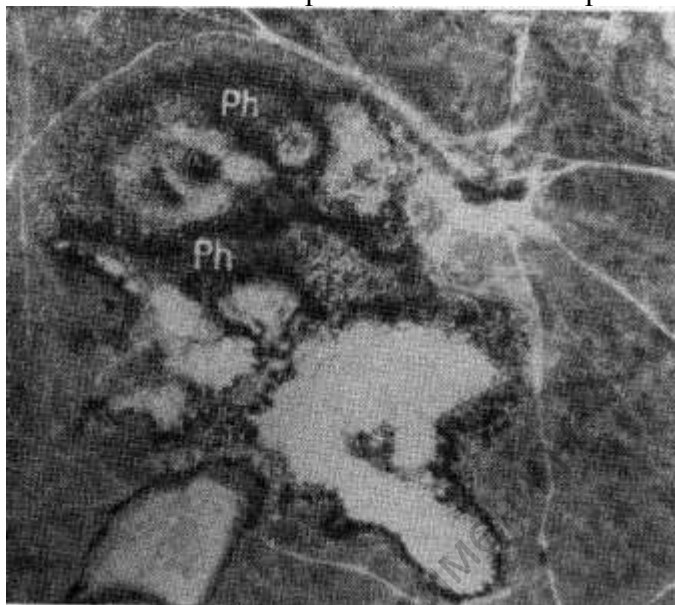


Рис. 48. Аэрофотоснимок песчаного массива с зарослями фреатофитов (Ph) в центре и по окраине (летняя съемка)

Низкорослая угнетенная песчаная полынь может развиваться и при залегании воды на значительных глубинах. Глубина залегания воды может варьировать от 3 до 10 м; минерализация не превышает 3 г/л.

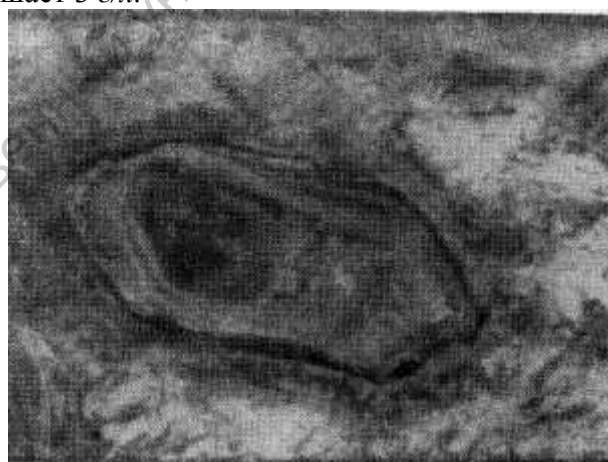


Рис. 49. Аэрофотоснимок лиманного понижения, под которым лежит линза пресных вод (Востокова, 1961)

Полезно обращать внимание на некоторые ландшафтные признаки, не имеющие строго геоботанического характера. Так, если котловина с зарослями пышно развитой песчаной полыни окружена сильно развеянными барханными песками, что легко обнаружить, например, по аэрофотоснимку (рис. 48), то вода под котловиной залегает не глубже 5 м и имеет, как правило, минерализацию около 1 г/л (Преображенская, 1962). Чем более закреплены окружающие пески, тем воды под зарослями песчаной полыни залегают глубже, и содержание солей в воде возрастает.

Надежными гидроиндикаторами, строго связанными с пресными водами, являются в песках северопустынной зоны заросли вайды песчаной (*Isatis sabulosa* — крупное растение из семейства крестоцветных) и донника польского (*Telitolis oolonicus* — растение

из семейства бобовых). Располагаясь обычно по дну котловин выдувания, заросли этих видов встречаются только там, где вод не более 3 м (максимум 5м), а минерализация не выше 1 г/л (Демидова и др., 1955).



Рис. 50. Аэрофотоснимок водорослевого налета (A) и зарослей фреатофитов (Ph) на такыре, под которым лежит линза пресных вод (летняя съемка)

Линзы, расположенные под лиманообразными понижениями, на супесчано-суглинистых равнинах обозначаются обычно различными лугами, постоянными компонентами которых являются пырей ползучий (*Agropyron repens*), солодка (род *Glycyrrhiza*), верблюжья колючка (род *Alhagi*) и кермеки (рода *Limonium* и *Statice*). Последние четыре группы растений являются фреатофитами. Солодка тяготеет преимущественно к пресным водам, изредка проникая и в высокоминерализованные. В последнем случае она становится низкорослой и имеет беловатый налет на листьях вследствие выделения соляной пудры. Распространение в лиманах кермеков служит надежным признаком присутствия соленых вод. Верблюжья же колючка может существовать как на пресных водах (в комплексе с солодкой), так и на соленых (в симбиозе с кермеком). Однако если подлиманная линза сильно засолонена, то у верблюжьей колючки отмечаются низкорослость, мелколистность и светлая окраска листьев (рис. 49).

В южных пустынях мелкие подпесчаные линзы мало распространены. Индикаторами их являются рощи черного саксаула и заросли тамарисков. Значительно чаще встречаются подтакырные линзы. Последние обозначаются кольцами влаголюбов (тамарикс, верблюжья колючка) по окраинам такыров, отчасти проникающими и на его поверхность (Шавырина, 1963). Кроме того, показателем присутствия подтакырных линз может служить появление на поверхности такыров густых налетов напочвенных водорослей. Такие налеты присутствуют на такырах почти всегда, но над линзой они становятся особенно сомкнутыми и довольно хорошо заметными на аэрофотоснимках в виде несколько расплывчатых округлых или овальных контуров с темно-серым фототонем на более светлой поверхности такыра (рис. 50). Воды на подтакырных линзах, обозначаемых кольцами тамарисков и верблюжьей колючки, лежат на глубине 8—10 м, причем минерализация их может достигать 3—4 г/л. Чтобы уточнить степень минерализации, следует руководствоваться теми чертами внешнего облика этих растений, какие были упомянуты выше (сизая или зеленая окраска тамарисков, нормально развитые или низкорослые, крупнолистные или мелколистные формы у верблюжьей колючки).

При индикации мелких линз под песками, такырами, лиманами следует иметь в виду, что растительность обозначает ту площадь, где вода присутствует более или менее постоянно. Во влажные годы или даже в отдельные сезоны линзы могут занимать площади значительно большие, чем на которых развита влаголюбивая растительность.

В песках подзоны южных пустынь встречаются крупные глубоко залегающие линзы подземных вод. Они не находят непосредственного отражения в распределении растительного покрова. Однако зоны их выклинивания обозначаются довольно отчетливо флористическими комплексами, в которых сочетаются древесные, кустарниковые и травянистые фреатофиты и трихогидрофиты. Так, например, подобная зона у известной Ясханской линзы занята сочетанием тополевых рощиц, тростниковых зарослей, групп

кустов тамарисков с участием солодки и верблюжьей колючки, образующим широкую полосу, заметную на местности по своей яркой зеленой окраске, а на аэрофотоснимке — по интенсивному темному фототону.

В каменистых пустынях (Устюрт, южная часть пустыни Кызылкум, равнинный Мангышлак) линзы пресных вод обозначаются особыми, своеобразными микроландшафтами, представленными обширными (до 1 — 2 км) слабо выраженными блюдцевидными понижениями (местное название «урпа»), занятыми растительными группировками, в которых характерно присутствие двух фреатофитов — итсегека (*Anabasis aphylla*) и адреспана, или гармалы (*Peganum harmala*). Воды лежат на глубине 5—15 м; минерализация их обычно не свыше 3 г/л, редко до 5 г/л.

## ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

### ЗНАЧЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОБЛАСТИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Методика гидрогеологических исследований для целей водоснабжения в области распространения многолетнемерзлых пород имеет некоторые специфические особенности по сравнению с теми методами и приемами исследований, которые применяются вне этой зоны при изучении эксплуатационных запасов подземных вод различных гидрогеологических типов. Так как на территории многолетнемерзлых пород можно встретить различные типы подземных вод, описанные выше, в данной главе излагаются только некоторые особенности поисков и разведки подземных вод, которые возникают в связи с наличием многолетней мерзлоты.

В северных и северо-восточных районах Союза ССР в связи со строительством в последнее время крупных промышленных предприятий возникла потребность в больших объемах воды для водоснабжения. Особенно большое количество воды необходимо для обогатительных фабрик.

Часто поверхностные воды этих территорий не могут обеспечить нужное количество воды и приходится использовать подземные воды. Эта необходимость возрастает тогда, когда поверхностные водотоки, в большинстве случаев обильные летом и осенью, промерзают до дна (толщина льда на водоемах северной территории Союза ССР достигает 1,5—2,5 м).

Значительная часть территории СССР находится в зоне распространения многолетнемерзлых горных пород, мощность которых увеличивается с юга на север и достигает 300—600 м и даже более (рис. 51). Однако в некоторых случаях в определенной климатической, геологической и гидрогеологической обстановке локально ограниченные большой мощности многолетнемерзлые толщи обнаруживаются и в более южных районах, например в высокогорных районах Северного Забайкалья. Точно также небольшие мощности многолетнемерзлых пород и талики встречаются на севере области распространения многолетнемерзлых пород, например в зонах активного тектогенеза.

В ряде районов с мощной низкотемпературной толщей многолетнемерзлых пород получение воды как поверхностной, так и подземной настолько затруднительно, что приходится прибегать к снижению норм водопотребления и принимать меры к возможно более эффективному использованию оборотных вод. Так, например, в некоторых северных районах Аляски, где многолетнемерзлые породы занимают около 60% всей территории, практикуется повторное использование сточных вод для нужд бытовой канализации (Alter, 1963).

В отечественной промышленности известны случаи, когда в районах с многолетнемерзлыми породами из-за чрезвычайной сложности и дороговизны получения и транспортировки воды (поверхностной и подземной) разработка ценного полезного ископаемого становилась экономически невыгодной.

Методические особенности изучения подземных вод, распространенных в области многолетнемерзлых пород, отмечались в ряде работ Н. И. Толстихина (1935, 1941), П. Ф.

Швецова (1951), А. И. Калабина (1958, 1960), Н. А. Вельминой (1952, 1961), Н. И. Плотникова (1965 г.) и других исследователей, а также в обобщающих трудах, учебниках и методических руководствах, которые и послужили основой данной главы. Используются также некоторые скудные сведения, помещенные в материалах по утверждению запасов подземных вод для районов развития вечномерзлых пород.

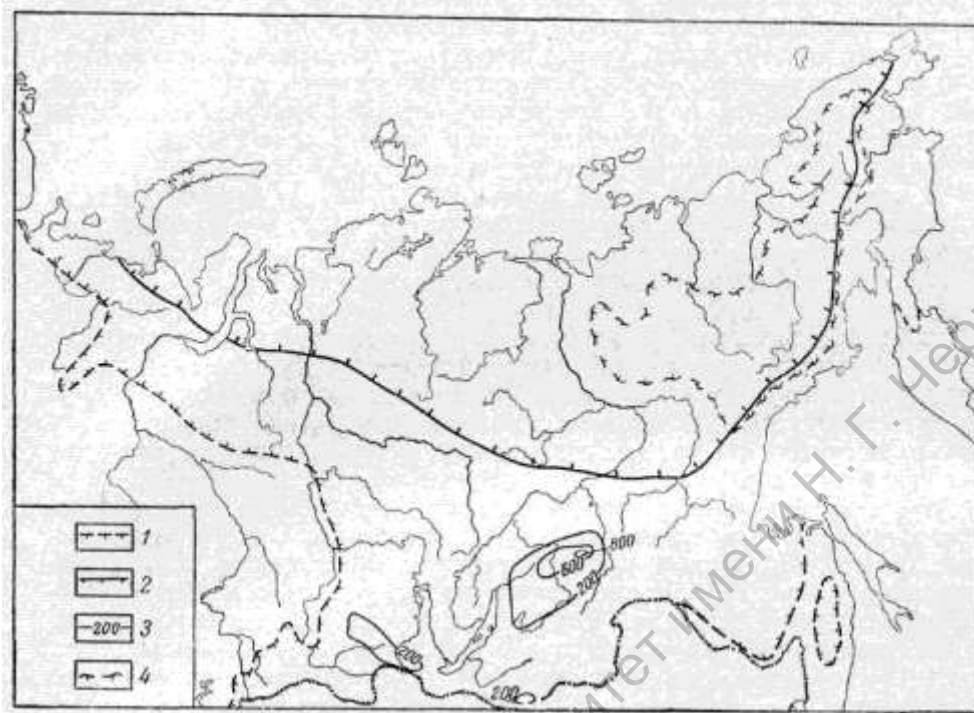


Рис. 51. Схема распространения многолетнемерзлых пород  
 1 — южная граница области распространения многолетнемерзлых пород; 2 — южная граница территории с преимущественным распространением мощных (более 200 м) толщ многолетнемерзлых пород; 3 — границы районов с азональной мощностью многолетнемерзлых пород, цифра обозначает максимальную мощность, м; 4 — граница территории с широким распространением крупных наледей подземных вод

### ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Весьма специфической особенностью гидрогеологических исследований в этой области является то, что здесь в большей степени, чем в обычных условиях, требуется учитывать фактор времени и температуру горных пород и подземных вод.

На стадии гидрогеологической съемки особенно важно установить время проведения полевых исследований. Связано это с тем, что наиболее четко естественные выходы глубоко залегающих подземных вод проявляются в конце зимы и в самом начале весны (до начала снеготаяния), когда поверхностные и надмерзлотные грунтовые воды, маскирующие и перекрывающие эти выходы, перемерзают. Поэтому изучение зимних и весенних выходов глубоких подземных подмерзлотных вод дает наиболее правильное представление об их свойствах, особенно о ресурсах и химическом составе. Именно в это время целесообразно изучать и картировать непромерзающие источники и образованные ими наледы, замерять расходы источников, температуру воды, размеры наледей.

Период, когда наблюдается наиболее полное перемерзание надмерзлотных вод и когда, следовало, сохранившиеся выходы подземных вод на поверхность характеризуют истинные свойства подмерзлотных вод в наибольшей степени, называется критическим периодом. Он наступает обычно в феврале и заканчивается в апреле.

В более ранний зимний период надмерзлотные воды нередко временно приобретают напор, обусловленный глубоким промерзанием верхней части водоносного горизонта



(криогенный напор). Однако он не является показателем возросшей водообильности данного пласта и может сопровождаться даже уменьшением дебитов источников.

В ряде случаев, особенно в южной части области распространения многолетнемерзлых (например, в Забайкалье), мощные надмерзлотные водоносные горизонты могут и не перемерзать полностью, однако и здесь в критический период ограниченности подземных вод выявляются наиболее четко.

Глубоко залегающие подмерзлотные воды менее зависят или совсем не зависят от сезона года, однако особенности выходов их на дневную поверхность могут значительно изменяться в течение года. Нередко источник подмерзлотных вод зимой имеет даже большую мощность, чем летом, так как мелкие пути разгрузки этих вод перемерзают и вся изливающаяся вода сосредоточивается в одном источнике.

В общем, сезонные колебания дебита, напора, температуры и химического состава воды источников в области распространения многолетнемерзлых пород часто бывают существенно более контрастными, чем у источников вне этой области. Поэтому в этой области желательны систематические круглогодичные гидрогеологические наблюдения за режимом источников или, в крайнем случае, наблюдения должны проводиться зимой (время наибольшего промерзания) и осенью (время наибольшего протаивания). Для определения возможности использования источника для водоснабжения круглогодичные исследования совершенно необходимы.

Другая важная специфическая особенность в изучении подземных вод в области распространения многолетнемерзлых пород заключается в более детальном, чем обычно, изучении температуры подземных вод и горных пород, так как помимо всех обычных качеств воды, которые связаны с изменением температуры (газовый и химический состав, плотность воды), здесь изменение температуры может привести к изменению фазового состояния воды и к существенному нарушению условий эксплуатации. Вопрос изменения режима эксплуатируемых подземных вод в годовом цикле весьма существен для данной области, поэтому следует проводить наблюдения за работой действующих водоисточников, имеющихся в данном районе, в течение возможно более длительного времени, особенно в такие времена года, когда четко проявляются гидрогеологические контрасты, связанные с наибольшим промерзанием и наибольшим протаиванием пород.

Следует выяснить, какие воды эксплуатирует данный водопункт, перемерзают они зимой или нет, насколько изменяется их эксплуатационный дебит, какие меры применяются для предотвращения замерзания водоисточника (тепьяк над колодезем, обогрев ствола скважины, постоянная или периодическая откачка воды). Следует учитывать, что в связи с замерзанием или оттаиванием эксплуатируемого водоносного горизонта может произойти перераспределение количества и изменение направления подземного стока.

Основные типы подземных вод области распространения многолетнемерзлых пород, которые могут быть использованы для более или менее крупного водоснабжения, помещены в табл. 30.

При гидрогеологических исследованиях в области многолетнемерзлых пород в основном применяются те же методы исследований подземных вод, что вне этой области, однако в ряде случаев они имеют некоторую специфику.

Изучение водоемов и рек в области развития многолетней мерзлоты представляет значительный интерес, так как нередко только по таликам под ними происходит взаимосвязь поверхностных и подземных (подмерзлотных) вод.

Изменение уровня воды в водоемах может служить показателем связи поверхностных вод с подземными. Следует установить характер и величину изменения уровня воды и ледяного покрова в течение года, определить, к какому периоду приурочены подъемы и понижения уровня в водоеме.

Выпучивание центральной части ледяного покрова водоема позволяет предполагать перемерзание путей грунтового стока воды и наличие субквального притока подземной воды. Прогиб ледяного покрова в водоеме указывает на промерзание протоков грунтовых вод, питающих озеро, при наличии свободного стока.

Следует установить изменение температуры воды в водоеме или реке во времени и в пространстве. Температуру измеряют в нескольких местах, в основном около дна, по створам или по сетке в соответствии с особенностями распределения температуры воды. Наблюдения позволяют установить наличие локального аномального изменения температуры воды, которое может быть обусловлено субаквальным выходом подземных вод. Такие локальные участки должны подвергаться более детальному обследованию.

Наиболее показательны температурные наблюдения в зимнее время, когда влияние глубоких подземных вод на поверхностные проявляется наиболее четко.

Весьма важно определить не только температуру воды, но и температуру и фазовое состояние горных пород, слагающих дно водоема или водотока с целью установления размеров и контуров талика, а также изменений этих характеристик во времени. Так как это изучение связано с бурением наблюдательных и разведочных скважин с воды или со льда, требуется исключительно тщательная обсадка труб и изоляция ствола скважины от проникновения в него воды. В некоторой степени сведения о размерах таликов могут быть получены геофизическими методами (электропрофилирование и электророндирование). Изучение подруслового талика производят по поперечникам, в границах и за пределами водоема или русла реки. Чрезвычайно важно установить конфигурацию поверхности, разделяющей многолетнемерзлые и талые породы, и водоносность подруслового талика. В зависимости от гидрогеологической обстановки эта поверхность раздела может иметь падение от реки (водоема) в сторону берега, от берега в сторону реки или быть почти вертикальной. Обычно первый случай обусловлен интенсивным водообменом по талику между подземными и поверхностными водами, второй и третий — меньшим влиянием водообмена поверхностных и подземных вод или даже отсутствием водообмена (несквозной талик).

Некоторые черты формирования и строения ледяного покрова водоемов и рек являются индикаторами гидрогеологических особенностей данного участка. При обследовании ледяного покрова надо обращать внимание на речные наледи, ледяные бугры и полыньи, образование которых обычно связано с выходами подземных вод.

При изучении полыньи производят измерение ее размеров, определяют глубину водоема, толщину льда в различных расстояниях от полыньи, измеряют температуру воды, скорость течения, расход потока, отбирают пробы воды на химический анализ. В результате обобщения полученных данных и данных о гидрогеологическом строении участка можно сделать вывод о генезисе подруслового (подозерного) талика и его водоносности. Необходимо подчеркнуть, что подрусловые талики являются вообще одними из наиболее надежных источников водоснабжения в области распространения многолетнемерзлых пород.

Чрезвычайно характерны для области многолетнемерзлых пород — наледи — плоско-выпуклые ледяные тела, образовавшиеся на поверхности почвы в результате последовательного замерзания поверхностных или подземных вод (Вельмина, 1961). Наледи поверхностных вод образуются водами рек и озер, наледи подземных вод — источниками вод глубокой циркуляции, водами грунтовых и подрусловых потоков.

Наледи подземных вод глубокой циркуляции, обычно наиболее мощные, приурочены к выходам подземных вод по зонам тектонических нарушений или контактам пород различного возраста и состава. Распространены наледи главным образом в горных областях и служат показателем водообилия данного района.

Дебиты источников, образующих наледи, весьма различны. На юге области распространения многолетнемерзлых пород (Забайкалье, Дальний Восток) источники обладают обычно дебитом до 10 л/сек. В северо-восточных районах дебиты их достигают сотен и даже тысяч литров в секунду, и поэтому наледи занимают иногда площади в несколько десятков квадратных километров.

«Условия образования наледей, их распространение, скорость развития, продолжительность существования, а также процесс их таяния определяются комплексом условий: расходом питающего источника, его постоянством и постоянством мест выхода, наличием побочных источников питания, температурой воды, воздуха, глубиной

сезонного промерзания, снежным покровом, абсолютной высотой местности, рельефом, экспозицией, геологическим строением, тектоникой и пр.» (Вельмина, 1961). Все эти факторы должны быть определены при изучении наледей. Значительную помощь в нахождении наледей оказывают аэрофотоснимки (особенно выполненные в ранние летние месяцы) или облет территории сразу после схода снежного покрова. Исследования наледей с целью определения расходов питающих их источников и общих гидрогеологических условий требуют систематического посещения наледей в течение года для повторных наблюдений за динамикой роста, для отбора проб воды и льда на химический анализ, определения температуры воды в источнике, фиксации наледных и криогенных явлений в районе образования наледей. При изучении источников подземных вод области распространения многолетнемерзлых пород одним из основных вопросов, подлежащих выяснению, является годовой режим подземных вод, так как сезонные колебания их дебита, температуры и химического состава воды часто бывают более контрастными, чем вне этой области.

Необходимо установить, является ли место выхода источника постоянным или источник мигрирует в течение года в связи с промерзанием или оттаиванием водовыводящего канала. Данные о закономерностях перемещения выхода источника можно получить путем периодических наблюдений, опроса местного населения, по результатам изучения некоторых косвенных признаков, устанавливаемых летом и указывающих на зимнее изменение места выхода источника.

Этими признаками являются: остатки нерастаявших наледей, угнетенная растительность и затянувшееся начало вегетации кустарников и травы на участках прежнего распространения наледей.

Следует установить зависимость места выхода подземных вод от формы рельефа, геологического строения и экспозиции. Последнее обстоятельство является нередко существенным, так как склоны, обращенные к югу, обычно менее проморожены, чем северные, и к ним приурочены сквозные водоносные талики. При исследовании места выхода источника большое внимание следует уделить оконтуриванию талика около места выхода источника. Наиболее целесообразно произвести это методами электроразведки (профилирование, зондирование).

Выяснение химического и газового состава воды источников в течение года в области многолетнемерзлых пород имеет особо важное значение, так как в связи с промерзанием и протаиванием некоторых водоносных горизонтов, питающих источник, сезонное изменение химического состава подземных вод происходит более резко, чем вне этой области. В критический период химический и газовый состав воды источника наиболее полно характеризует генезис основного водоносного горизонта, питающего источник. Также важно периодически в течение года изучать изменения температуры подземных вод, причем особенно показательны измерения температуры в критический период. При рассредоточенных выходах воды измерения производят в различных местах, что позволяет уточнить место выхода коренной струи.

Изменение дебита источника производят в различные сезоны, причем наиболее показательны расходы критического периода. Обычно эти величины являются минимальными в течение всего года. Однако в некоторых случаях летние дебиты источников могут быть меньше зимних (например, при растекании восходящей струи подмерзлотных вод по слою оттаявшего аллювия). Зимой определение расхода источника нередко производят способом периодического измерения объема льда наледи, растущей около источника. Это может быть сделано способом повторной крупномасштабной топографической съемки, измерением толщины льда по заранее (с осени) установленным мерным вехам, пробивкой лунок и др.

Полученные данные не всегда отражают действительный расход источника, так как часть воды может не замерзнуть, а стекать в виде подналедного стока (поверхностного или подземного).

При изучении гидрогеологических условий территории и выяснении возможностей водоснабжения за счет подземных вод в области многолетнемерзлых пород существенное

значение имеет выяснение особенностей распространения и водообильности таликов. Таликами принято называть ограниченные мерзлыми породами массивы горных пород, имеющих положительную температуру. Если площадь немерзлых пород преобладает над площадью распространения многолетнемерзлых пород, то различают талики, расположенные внутри массивов мерзлых пород, и немерзлые породы, окружающие «острова» мерзлых пород (южная зона многолетнемерзлых горных пород).

Таблица 30

**Характеристика некоторых типов подземных вод, используемых для водоснабжения в области распространения многолетнемерзлых пород**

Основные типы подземных вод	Подтипы	Геолого-структурные и геоморфологические особенности водоносных пород	Гидрогеологические условия	Примеры выделенного типа подземных вод	Основные виды поисковых и разведочных работ	Применимость для водоснабжения
Подземные воды зоны распространения многолетнемерзлых пород	1. Воды грунтовые, частично промерзающие зимой. Залегают над толщей многолетнемерзлых пород, надмерзлотные	Рыхлые четвертичные отложения, главным образом аллювиальные	Зимой нередко частично или полностью промерзают, при этом образуются напор и иногда изменяется направление движения подземного потока  Сезонное промерзание сверху уменьшает мощность водоносного слоя и создает криогенный напор, который не является показателем увеличения водообильности	Широко развиты в долинах крупных рек	1. Гидрогеологическая съемка с проходкой шурфов в пределах песчаногалечниковых речных террас  2. Разведочное бурение глубиной до 20—50 м, редко глубже; главным образом по переценкам.  3. Режимные наблюдения за источниками и скважинами.  4. Опробование источников и скважин, особенно детальное в криотический период	Для крупного водоснабжения неприменимы
	2. Воды грунтовые и коры выветривания коренных пород, непромерзающие зимой. Залегают над толщей многолетнемерзлых пород и в глубоких или сквозных таликах	Песчано-галечниковые подрусловые и подозерные аллювиальные отложения и трещиноватые коренные породы	Существуют весь год в подрусловых и подозерных таликах, имеют тесную взаимосвязь с поверхностными и подмерзлотными водами, не напорные. Водоносный слой ограничен с боков мерзлыми породами, которые обычно расположены вблизи от контура водотока или водоема	Широко развиты, особенно в хорошо фильтрующихся породах под крупными водоемами и водоемами	1. Гидрогеологическая съемка около рек и озер. 2. Разведка геофизическими методами (электронпрофилирование, электротондирование, микросейсмика, радиоклип) с целью оконтуривания таликов.	Могут быть использованы для крупного водоснабжения; возможно искусственное пополнение подземных вод летом

Основные типы подземных вод	Подтипы	Геолого-структурные и геоморфологические особенности водоносных пород	Гидрогеологические условия	Примеры выделенного типа подземных вод	Основные виды поисковых и разведочных работ	Применимость для водоснабжения
	<p>3. Воды коренных пород, низкотемпературные. Залегают непосредственно под нижней поверхностью многолетнемерзлых пород различной мощности (до 200—400 м), под мерзлотными</p>	<p>Платформенные области. Пористые, закарстованные, трещиноватые, коренные породы</p>	<p>Артезианские воды, впадинные, трещинные, карстовые с температурой около 0,2—5°. В случае минерализованных вод температура может быть ниже нуля. Верхний водоупорной кровлей служит мерзлая толща</p>	<p>Якутский артезианский бассейн</p>	<p>3. Разведочное бурение скважин до 20—50 м профилями около рек, по сетке около озер. Применяется бурение со льда. 4. Опробование скважин</p>	<p>Пригодны для крупного водоснабжения</p>
					<p>1. Разведка геофизическими методами (электротомография, электрофильтрация, сейсморазведка, электрокаротаж, радиокип) с целью определения мощности толщи многолетнемерзлых пород. 2. Разведочное и разведочно-эксплуатационное бурение до 300—500 м, желательное без применения промывки. Скважины закладываются в зависимости от геоструктурных, гидрогеологических и мерзлотных особенностей. 3. Опробование вскрытых водоносных горизонтов, осложняющиеся возможностью заморозания откачиваемой воды в стволе скважины</p>	

Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

<p>4. Воды коренных пород залегают преимущественно под нижней многолетнемерзлых пород или в сквозных таликах</p>	<p>Горноскладчатые области. Трещиноватые, пористые, закарстованные, тектонически нарушенные коренные породы</p>	<p>Пластовые, трещинные, жильные, карстовые подземные воды, обычно порные, с температурой около 1—5°. Части постоянно действующие источники. Верхней и нередко боковыми водопитателями являются мерзлые породы</p>	<p>Верхояно-Колымский бассейн трещинных вод</p>	<p>1. Гидрогеологическая съемка с широким использованием аэрофото-съемки. 2. Разведочное и эксплуатационное бурение до глубин, превышающих мощность мерзлых пород (100—600 м), желательно без применения промывки. 3. Электрокаротаж скважин. Геофизические методы разведки по оконтуриванию тектонических зон. 4. Режимные стационарные наблюдения за источниками и в скважинах. 5. Опробование источников и скважин, особенно в критических периодах</p>	<p>Наиболее пригодны для крупного водоснабжения</p>
<p>5. Воды коренных пород залегают преимущественно в поверхностных многолетнемерзлых породах</p>	<p>Платформенные и горноскладчатые области. Трещиноватые, пористые, закарстованные, тектонически нарушенные коренные породы</p>	<p>Артезианские, трещинные, карстовые, жильные подземные воды, обычно высоконапорные с температурой выше 5—10°</p>	<p>Глубокие горизонты северной части Западно-Сибирского артезианского бассейна</p>	<p>Обычные способы разведки и опробования вне зоны распространения мерзлых пород в зависимости от гидрогеологических условий</p>	<p>Пригодны для крупного водоснабжения</p>

Обнаружение таликов, их оконтуривание и выяснение водоносности представляет сложную задачу. Для выявления таликов и ряда других явлений, связанных с мерзлыми породами, применяются методы дешифрирования аэрофотоснимков (по микрорельефу, растительности), геофизические методы (электропрофилирование, электрозондирование, сейсморазведка и микросейсморазведка), наземная гидрогеологическая съемка

(желательно в критический период и в период максимального оттаивания) и, наконец, проходка горных выработок.

Наиболее существенными признаками устойчивых таликов являются:

а) крупные не промерзающие до дна водоемы и водотоки (подозерные, подрусловые, пойменные талики);

б) источники подземных вод, мощные и постоянно действующие сезонные и многолетние наледи (гидротермальные, тектонические талики);

в) локальные участки относительно теплолюбивой растительности — тополь, береза, осина, сосна, ель, густое разнотравье (инсоляционные и инфильтрационные склоновые и пойменные талики), густые ивовые заросли (инфильтрационные подрусловые талики), выделяющиеся на фоне тундры, лиственничной тайги или степной растительности.

Водообилие таликов определяется обычными гидрогеологическими методами (измерение расхода источников, откачка из горных выработок), причем при выборе времени для этих работ, места и количества объектов наблюдения необходимо учитывать указанные ранее особенности режима подземных вод области многолетнемерзлых пород. Определение водообильности таликов в критический период является наиболее показательным.

До настоящего времени не разработаны еще расчетные схемы, определяющие различные свойства водоносных горизонтов, в том числе и величину запасов вод среди многолетнемерзлых пород. Это связано, очевидно, с тем, что не проводится достаточно детальных комплексных гидрогеологических исследований для действительно крупного водоснабжения, основанного на использовании только подмерзлотных вод. Построенные в области распространения многолетнемерзлых пород водозаборы подземных вод обычно в той или иной степени используют также и поверхностные воды.

Трудность в составлении расчетных схем заключается в сезонном изменении значений некоторых величин, характеризующих водоносный горизонт: глубины залегания мерзлого водоупорного слоя, температуры воды, величины напора и других показателей, о чем упоминалось выше.

Здесь могут быть сделаны лишь следующие рекомендации по примерному схематическому расчету эксплуатационных запасов подземных вод, основанные на некоторой аналогии между особенностями водоносных горизонтов, распространенных в мерзлой зоне и вне ее.

Расчеты для аллювиальных водоносных горизонтов частично перемерзающих зимой (первый и второй подтипы, см. табл. 30), можно проводить аналогично расчету для водоносных отложений частично пересыхающих долин (см. главу XIX), т. е. для условий переменной (в течение года) мощности водоносного горизонта. Однако глубокое промерзание водоносного горизонта сопровождается нередко образованием криогенного напора.

Для расчета эксплуатационных запасов подмерзлотных вод артезианских бассейнов (третий подтип, см. табл. 30) можно принять схему, применяемую при расчете неограниченного пласта (см. главу II). Некоторым изменением глубины залегания нижней поверхности толщи многолетнемерзлых пород во времени, имеющим большое генетическое значение, при подсчете можно пренебречь.

Расчет подмерзлотных трещинных вод (четвертый подтип, см. табл. 30) может быть проведен по схемам, применяемым для трещинных вод вне мерзлой зоны.

### **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВЕДКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД**

В области распространения многолетнемерзлых пород механическое бурение гидрогеологических разведочных и эксплуатационных скважин имеет некоторые осложняющие особенности, которые должны быть учтены при проектировании разведки подземных вод. Эти особенности обусловлены тем, что в стволе скважины промысловая жидкость может замерзнуть при прекращении циркуляции ее всего на несколько часов, а



также тем, что проходимые льдонасыщенные грунты, устойчивые в мерзлом состоянии, при оттаивании в процессе бурения теряют прочность. И то и другое обстоятельство может привести к сложной аварии (Марамзин, 1958).

В зависимости от цели бурения, времени года, температуры и устойчивости проходимых пород в качестве промывочной жидкости может применяться вода (пресная или подсолённая) или глинистый раствор. Если разбуриваемые мерзлые породы относятся к крепким скальным и полускальным, то для промывки можно применять воду, имеющую любую температуру, так как не произойдет существенного разрушения стенок ствола в результате некоторого обогривания таких пород.

Если бурение производится в толще мерзлых осадочных пород без включения сухих сыпучих отложений, то для промывки скважины можно применять подсолённую воду, охлажденную до отрицательной температуры («Полевые геокриологические мерзлотные исследования», 1961). Однако трудность поддержания температуры промывочной жидкости, близкой к температуре проходимых мерзлых пород, обычное оползание стенок скважины при нарушении их температурного режима, замерзание пресной воды — все это делает бурение мерзлых пород с промывкой (водой или глинистым раствором) недостаточно эффективным.

Более прогрессивен для бурения скважин в мерзлых породах способ вращательного бурения с продувкой ствола сжатым воздухом (Елманов и др., 1958; Марамзин, 1958; «Полевые гидрогеологические исследования», 1961). Этот способ имеет следующие преимущества: устраняются расходы на доставку воды и приготовление соляного или глинистого раствора; исключаются аварии, вызываемые замерзанием промывочной жидкости и оползанием стенок, существенно улучшаются условия для изучения температуры многолетнемерзлых пород, так как ствол скважины остается сухим, почти не происходит изменения температурного режима проходимых пород и уточняется отбивка кровли водоносного горизонта. Кроме того, значительно улучшаются условия труда буровых бригад. Бурение вскрытых подмерзлотных водоносных пород должно продолжаться обычным способом с промывкой.

Гидрогеологические наблюдения в буровых скважинах, пробуренных в области многолетнемерзлых пород, имеют некоторые особенности по сравнению с аналогичными работами вне этой области.

В скважине, бурящейся с промывкой, помимо общепринятых гидрогеологических наблюдений необходимо вести систематические (не реже двух раз в смену) измерения температуры входящей и выходящей струй промывочной жидкости. Эти данные дают только самое общее представление об изменении гидрогеологического и температурного режима буримой толщи пород. Рекомендуется составлять график, на который систематически наносят величины температуры входящей и выходящей промывочной жидкости. В зоне нижней поверхности толщи мерзлых пород обычно наблюдается изменение во взаимоположении этих кривых температуры промывки. Осредненные величины температуры промывочной жидкости могут быть использованы для приближенного определения степени нарушения естественного температурного поля.

В процессе бурения полученный керн необходимо осматривать немедленно после его извлечения, так как в трещинах и порах пород может сохраниться лед. Химический анализ этих включений дает представление о составе подземной воды в период формирования мерзлой толщи, что может помочь в выяснении генетических особенностей подмерзлотных вод.

При опробовании скважин большое внимание следует уделить опробованию пород, слагающих нижнюю часть многолетнемерзлой толщи, и контактирующих с ними талых отложений, залегающих ниже, так как полученные сведения о гидрогеологических особенностях этой сложной переходной зоны позволяют решить наиболее трудный вопрос о взаимовлиянии мерзлых пород и водоносных горизонтов (образование криогенного напора, сезонные изменения положения нижней поверхности: мерзлых толщ и др.).



Как правило, откачки из скважин, пройденных в многолетнемерзлых породах, особенно при большой их мощности и низкой температуре, должны проводиться весьма интенсивно с наименьшими перерывами. Нередко только форсированной откачкой удастся предотвратить замерзание воды. Перед началом откачки рекомендуется прогреть ствол скважины путем циркуляции горячей воды или паром.

В области распространения многолетнемерзлых пород совершенно особую роль приобретают некоторые вопросы, связанные с трудностями эксплуатации подземных вод. Эта специфичность эксплуатации, которая должна учитываться гидрогеологами, изучающими данное месторождение подземных вод, обусловлена тем, что здесь подземные воды могут замерзнуть как в самом источнике, предназначенном для водоснабжения (в сооружении, каптирующем выход воды, в скважине или колодце), так и в водоразводящих трубах, заложенных в слое сезонного промерзания или в многолетнемерзлых породах.

Наиболее подвержена замерзанию вода в скважинах, вскрывающих мощную толщу низкотемпературных многолетнемерзлых пород (ниже минус 3—4°), при условии, что уровень напорной подмерзлотной воды устанавливается в зоне мерзлых пород, особенно в интервале, где температура их наиболее низкая. При самоизливе или непрекращающейся откачке из скважины замерзания столба воды не происходит.

В перерыве откачки, особенно в первый период эксплуатации подмерзлотных вод, может происходить замерзание, образование ледяной пробки. Однако в процессе длительной откачки вокруг ствола скважины обычно образуется массив талых пород, который предохраняет ствол скважины от замерзания в период перерыва. Время минимально допустимых перерывов в период образования талика в настоящее время не поддается расчету, так как оно зависит от большого количества условий— мощности, температуры, льдистости мерзлых пород, химического состава воды, времени и способа откачки и т. п. В суровых мерзлотных условиях через несколько месяцев откачки перерыв может быть доведен до нескольких часов и даже суток, что недопустимо в первые месяцы откачки. После многомесячной интенсивной откачки, когда образуется устойчивый талик вокруг ствола скважины, перерывы в откачке могут быть весьма продолжительными.

Предохраняет от замерзания воды в неэксплуатируемой скважине постоянный слив в нее небольшого количества воды (1—2 м<sup>3</sup>/час) из запасного резервуара или ближайшего водоема. Струя воды с температурой на несколько градусов выше нуля, создает достаточный конвективный теплообмен в столбе воды, предупреждающий замерзание.

Другой способ предохранения от замерзания заключается в прогреве ствола скважины электрообогревателем (типа бытового электрокипятильника), опущенном между насосными и обсадными трубами ниже подошвы многолетнемерзлых пород. Наконец, при необходимости длительной консервации бездействующей скважины в незамерзшем состоянии применяется способ засоления воды раствором поваренной соли для понижения температуры замерзания воды. В скважину сливается концентрированный раствор в объеме, рассчитанном в соответствии, с минимальной температурой многолетнемерзлых пород, мощностью их, объемом столба воды. Засоление воды может осуществляться также путем опускания в скважину «гирлянды», состоящей из привязанных к тросу небольших полотняных мешочков с поваренной солью.

Все эти способы предохранения воды от замерзания в той или иной степени нарушают естественный режим подземных вод, вскрытых скважиной, поэтому при проведении гидрогеологических наблюдений в них необходимо выбирать такой способ, который в меньшей степени нарушает тот элемент режима, который является в данном случае наиболее важным, — уровень, химический состав или температура воды.

В случае замерзания воды в скважине восстановить ее можно разбуриванием ледяной пробки, оттаиванием льда, спуском буровых штанг с постоянной циркуляцией по ним воды (холодной или горячей) или пара.

Все перечисленное показывает, что опробование гидрогеологических скважин в области распространения многолетнемерзлых пород, а тем более изучения режима

подземных вод, особенно при значительной мощности толщи этих пород, является сложной операцией требующей тщательной подготовки.

Вследствие того, что в области распространения многолетнемерзлых пород связь поверхностных и подземных вод затруднена и в целом условия питания подмерзлотных вод ограничены, последние нередко обладают пониженными (против обычных условий) ресурсами, и длительная, непрерывная эксплуатация их может привести к быстрому снижению уровня. Для двух первых подтипов подземных вод (см. табл. 30), т. е. вод грунтовых и коры выветривания, и реже для вод третьего подтипа, особенно существенное снижение можно ожидать в критический период.

Для восполнения сработанных подмерзлотных вод необходимо пополнить их. На Северо-Востоке России водоснабжение многих предприятий и населенных пунктов является комбинированным: в теплый период года используются поверхностные воды, а зимой, когда они перемерзают (во многих случаях полностью), — подземные. Поэтому летом поверхностные воды спускают в подрусловый талик в области, расположенной выше водозабора. В качестве поглощающих колодцев используются буровые скважины, заброшенные шахты. Поверхностную воду спускают самотеком. Особенно эффективно увеличение количества подмерзлотной воды в случае замкнутого или частично замкнутого артезианского бассейна межгорного типа. А. И. Калабин (1960) приводит пример такого восполнения подмерзлотных вод, при котором в одну скважину диаметром 90 мм за период с июня по ноябрь было слито около 50 тыс. м<sup>3</sup> воды, а зимой выкачано около 75% этого количества.

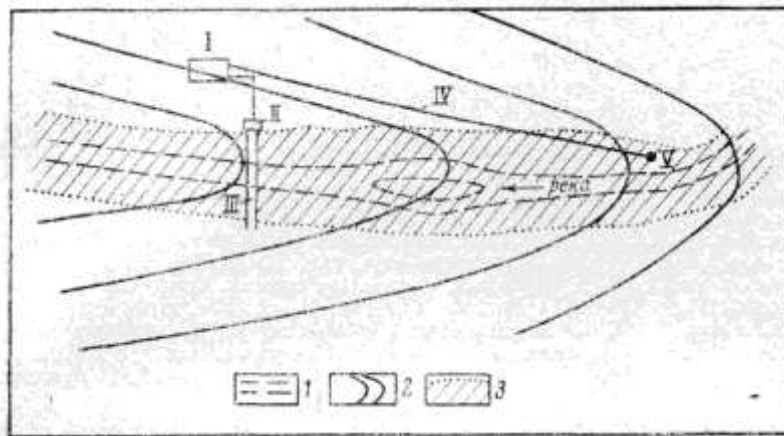
Искусственное пополнение ресурсов подземных вод является эффективным и в случае истощения вод аллювиальных отложений подрусловых таликов. С этой целью могут быть применены различные способы (Калабин, 1960):

- а) создание или расширение талика выше водозабора для увеличения возможности питания водоносного горизонта за счет поверхностных вод;
- б) устройство выше водозабора системы водонепроницаемых перемычек, прорезающих верхнюю часть водоносного горизонта, с целью уменьшения скорости подземного потока (частичный барраж);
- в) устройство временных запруд в русле выше водозабора для создания таликов;
- г) возведение мерзлотных поясов, водонепроницаемых перемычек ниже водозабора и другие способы.

А. И. Калабин приводит схему каптажа подземных вод подруслового и пойменного талика на одной из рек Северо-Востока СССР, при котором выше водосборной галереи, заложеной перпендикулярно к направлению долины, сбрасывается горячая вода с электростанции. Таким образом расширяется водоносный талик, улучшаются пути для проникновения в глубь поверхностных вод и одновременно охлаждается циркуляционная вода (рис. 52).

Для суждения об эффективности искусственного восполнения подземных вод при наличии многолетнемерзлых пород требуется, кроме обычного детального изучения гидрогеологических условий данного участка с выявлением мощности водоносного пласта, коэффициентов фильтрации пород, скорости потока, уклона его и т. п., также выяснения ряда мерзлотных характеристик: мощности слоя сезонного промерзания и протаивания, мощности многолетнемерзлых пород, их температуры, льдистости, распределения таликов и их мощности, режима водоносного талика. Эти сведения получают при геофизических исследованиях, бурении и опробовании разведочных скважин и в результате режимных наблюдений.

При изучении гидрогеологических условий того или иного месторождения подземных вод, расположенного в области распространения многолетнемерзлых пород, приходится в значительно большей степени, чем в обычных условиях, обращать внимание на инженерно-геологические свойства пород, слагающих данную территорию. Это определяется



**Рис. 52. Схема каптажа подземных вод подруслового и пойменного талика с искусственным расширением талика (по А. И. Калабину, 1960)**

1 — русло полностью промерзающей реки; 2 — горизонталь; 3 — подрусловый и пойменный талики среди многолетнемерзлых пород  
 I — электростанция; II — наносная станция; III — подземная каптажная галерея; IV — водовод, сбрасывающий горячую циркуляционную воду; V — поглощающая скважина

тем, что мероприятия, связанные с откачкой воды и ее транспортировкой по открытым каналам или трубопроводам, может привести к оттаиванию и существенной деформации пород, особенно льдонасыщенных песчано-глинистых грунтов.

Деформации могут коснуться пород затрубного пространства эксплуатационной скважины и вызвать неполадки в обсадных трубах (соскальзывание их вглубь, перекося, вмятины). По трассе водовода в связи с искусственным изменением температуры и влажностного режима окружающих пород могут происходить просадки, оползни и пучения.

Необходимо обращать серьезное внимание на инженерно-геологические свойства пород в районе водозабора и по линии возможных водоводов, в частности на криогенное строение пород, их температуру, льдистость, глубину оттаивания и промерзания, величину осадки при оттаивании и другие свойства (Чернышев, 1933; Арсеньев, 1956). Особенно большое внимание следует обратить на выявление линз льда и сильно льдистых грунтов, оттаивание которых, особенно в случае прокладки подземных или полуподземных утепленных каналов для водопроводных труб, может привести к большим деформациям сооружения.

В условиях распространения многолетнемерзлых пород одним из специфических требований к укладке водопроводных сетей является то, что необходимо обеспечить обязательное движение воды на всем протяжении сети (Вершинин, 1963; Суворов, 1963). Лишь в конечной точке водопроводной сети вода может иметь температуру, близкую к 0°. Вообще, чем больше диаметр водопровода, тем более низкую температуру воды, движущейся по трубам, можно допустить.

Список литературы:

Биндеман Н.Н. Методическое пособие по проектированию водозаборов для крупного водоснабжения М.Недра 1967

Классификация запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод М.МПР 2007

Законом РФ "О недрах" от 21 февраля 1992 г. № 2395-1

Инструкция по составлению проектов и смет на геологоразведочные работы М.МПР 1993

Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского