

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени К.И. САТПАЕВА**

В.А. Завалей

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

**Рекомендовано Республиканским учебно-методическим
объединением в качестве учебного пособия**

Алматы 2001

Завалей В.А. Поиски и разведка подземных вод: Учеб. пособие.

– Алматы: КазНТУ, 2001. 165 с. ISBN 9965-487-84-7

Учебное пособие посвящено методике проведения поисково-разведочных работ на подземные воды, основным методам получения гидрогеологической информации, подсчету запасов подземных вод, особенностям проведения поисково-разведочных работ в конкретных гидрогеологических условиях, а также проведению гидрогеологических работ при мелиоративных исследованиях, изучению месторождений твердых полезных ископаемых, нефти и газа и др.

Предназначено для студентов специальностей 1804 – «Гидрогеология, инженерная геология и геозкология», 1801 – «Геология, геологическая съемка, поиски и разведка полезных ископаемых», 2002 – «Бурение скважин и нефтегазовые сооружения», 4511 «Водные ресурсы и водопользование».

Ил. Табл.3. Библиогр.: 25 назв.

Рецензенты: Т.Т.Махмутов, зам. директора Института гидрогеологии и гидрофизики им. У.Ахмедсафина, д-р техн. наук, проф.;

В.Н.Антоненко, зам. директора Института геологии и нефтегазового дела КазНТУ им. Каныша Сатпаева, канд. геол.- минер. наук, доц.

Печатается по плану издания Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2001 год.

ВВЕДЕНИЕ

Гидрогеологические исследования при поисках и разведке месторождений подземных вод представляют собой сложный научно-технический процесс. Он позволяет с помощью целого ряда приемов методического и технического характера выявить месторождения подземных вод, дать характеристику условий их формирования, оценить эксплуатационные запасы, дать рекомендации по промышленному его освоению и режиму эксплуатации водозаборного сооружения. Успешное проведение таких исследований не возможно без знаний дисциплин в области гидрогеологии, гидрогеологии, геологии, климатологии, применяемых технических средств. При поиске и разведке подземных вод объединяются такие понятия, как методика проведения основных видов гидрогеологических работ для получения гидрогеологической информации и поиски и разведка месторождения подземных вод.

Первое понятие охватывает методику проведения гидрогеологической съемки, бурение гидрогеологических скважин, использование технических средств, проведение опытно-фильтрационных работ, наблюдения за режимом подземных вод, геофизических исследований и пр.

Под методикой поисково-разведочных работ понимается обоснование стадийности исследований, выбор продуктивного водоносного горизонта, выбор схемы размещения скважин, в частности и при эксплуатации, выбор метода оценки эксплуатационных запасов подземных вод и пр. Методика проведения поисково-разведочных работ зависит не только от природной гидрогеологической обстановки, но в немалой степени от конкретных народно-хозяйственных задач, решаемых этими исследованиями.

При составлении учебного пособия учтен опыт чтения курсов лекций по дисциплинам «Гидрогеологические исследования» и «Поиски и разведка подземных вод», а также перспективный типовой учебный план, где эти дисциплины объединены в курс государственного компонента «Поиски и разведка подземных вод».

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 1804 – «Гидрогеология, инженерная геология и геоэкология», 1806 – «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых» и других специальностей геологоразведочного, нефтегазового и горного направлений.

1. ВИДЫ, СТРУКТУРА, СТАДИЙНОСТЬ И ПРИНЦИПЫ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поиски и разведка подземных вод – учение о методах и приемах изучения гидрогеологических условий, выявления месторождений подземных вод и оценки их ресурсов, запасов, режима, качества и особенностей движения подземных вод в целях решения различных народнохозяйственных задач. Это один из основных разделов гидрогеологии, изучающий подземные воды как своеобразное природное вещество Земли и как одно из наиболее ценных полезных ископаемых.

Подземные воды – это один из наиболее важных видов геологической материи, постоянно находящейся в контакте с породами, с поверхностными водами и активно влияющей на ход геологических процессов в земной коре. Это весьма ценное полезное ископаемое, грандиозное как по масштабам использования, так и по своей значимости для нужд народного хозяйства.

Курс «Поиски и разведка подземных вод» аккумулирует знания как родственных с ним теоретических наук (геология, геохимия, гидравлика, и др.), так и чисто прикладных (бурение скважин, геофизика, горное дело и др.) и находится с ними в тесной взаимосвязи.

Гидрогеологические исследования проводятся при решении очень большого круга задач и являются неотъемлемой частью при изысканиях, строительстве и др.

Даже неполный перечень таких задач включает:

- поиски и разведку подземных вод для организации водоснабжения;
- поиски, разведку, оценку запасов минеральных, промышленных и теплоэнергетических подземных вод;
- проведение исследований с целью орошения или осушения земельных массивов;
- изучение гидрогеологических условий месторождения твердых полезных ископаемых с целью прогноза водопритоков в горные выработки и выработки рациональных методов эксплуатации месторождения;
- изучение гидрогеологических условий месторождений нефти, газа для выработки методов рациональной их эксплуатации и прогнозов;
- изучение гидрогеологических условий участков подземного выщелачивания месторождений полезных ископаемых;
- гидрогеохимические методы поисков месторождений твердых полезных ископаемых;
- обоснование мероприятий по искусственному восполнению запасов подземных вод;
- обоснование строительства искусственных нефте- и газохранилищ;

- обоснование прогнозов режима подземных вод при влиянии естественных и искусственных факторов и др.

В любом случае изучение подземных вод является весьма сложной задачей, включающей в себя не только гидрогеологические, но и другие виды работ.

Основными видами гидрогеологических исследований являются:

- сбор, обработка и обобщение материалов по гидрогеологическим условиям, геологическому строению и пр., полученных предыдущими исследователями;

- рекогносцировочное гидрогеологическое обследование изучаемой территории;

- гидрогеологические съемочные работы и составление гидрогеологических карт;

- бурение гидрогеологических скважин, горнопроходческие работы;

- полевые опытно-фильтрационные работы (откачки, наливов, нагнетания и т.п.);

- наблюдение за режимом подземных вод в естественных и нарушенных условиях;

- моделирование фильтрации подземных вод;

- лабораторные исследования.

Использование этих видов, их объем и методика зависят от масштаба и характера решаемых задач, стадии работ, сложности гидрогеологических условий и т.д.

В каждом конкретном случае для получения большей информации могут быть использованы балансово-гидрометрические исследования, гидрологические работы, специальные виды исследований (изогонные, радиогеологические, космические, палеогеологические, геоботанические и т.п.). Большой эффект дают геофизические виды исследований, как региональные, так и каротаж в скважинах.

Как и другие полезные ископаемые, подземные воды образуют месторождения, в пределах которых находятся и формируются естественные запасы и ресурсы.

Современная формулировка понятия «месторождения подземных вод» дана в инструкции Государственного комитета по запасам: «Месторождения подземных вод представляют собой пространственно ограниченную часть водоносной системы, в пределах которой под влиянием сочетания комплекса геолого-экономических факторов созданы благоприятные условия для отбора подземных вод определенного качества в количестве, достаточном для их целевого использования».

В понятии месторождения подземных вод учитывается не только объем воды в пределах месторождения, но и величина возможного отбора воды, условия питания и формирования дополнительных запасов и пр.

Та часть месторождения, где осуществляется отбор подземных вод для практического использования называется эксплуатационным (водозаборным) участком. В пределах месторождения их может быть несколько, и между собой они могут взаимодействовать.

Месторождение подземных вод имеет условные границы в плане и разрезе, но выделение этих границ зачастую весьма сложно и не всегда имеет однозначную трактовку.

В последнее время появился термин «Месторождение подземных вод промышленного типа» – такие гидрогеологические объекты, которые на практике являются основными поставщиками значительных эксплуатационных запасов для централизованного водоснабжения крупных объектов (5-8 тыс. м³/сут).

По данным Института гидрогеологии и гидрофизики им. У.М.Ахметсафина [21] на территории Республики Казахстан разведано свыше 600 месторождений подземных вод для хозяйственных целей, организации производственно-технического водоснабжения, орошения земель, использования их в бальнеологии. Месторождения подземных вод подразделяются на следующие типы, исходя из целого ряда геолого-гидрогеологических и физико-географических факторов:

- в современных и погребенных речных долинах;
- в артезианских бассейнах;
- в конусах выноса предгорных шлейфов и межгорных впадин;
- в песчаных массивах пустынь и полупустынь;
- в ограниченных структурах или массивах трещино-карстовых

пород и зонах тектонических нарушений.

Наибольшее количество разведанных месторождений подземных вод (210) приурочено к современным и погребенным речным долинам. Однако, за редким исключением, это мелкие месторождения, используемые главным образом для водоснабжения и орошения незначительных потребностей.

Значительные разведанные запасы подземных вод приурочены, главным образом, к месторождениям в конусах выноса предгорных шлейфов и межгорных впадин (55 месторождений) и к артезианским бассейнам (190 месторождений).

В ограниченных структурах, массивах трещино-карстовых пород и зонах тектонических нарушений разведано 157 месторождений подземных вод, зачастую с незначительными запасами.

В песчаных массивах пустынь и полупустынь выявлено всего лишь 11 месторождений.

Наиболее изученные месторождения подземных вод расположены на территории Южного и Юго-Восточного Казахстана.

Месторождения подземных вод имеют свои специфические особенности, главная из которых влияние на месторождение окружающей среды. Это влияние предопределяется такими свойствами подземных вод, как подвижность, способность к возобновлению запасов.

К таким особенностям относятся:

- полная или частичная возобновляемость;
- формирование баланса водоотбора за счет различных генетических составляющих и изменения их величины и соотношения во времени;
- тесная взаимосвязь подземных вод с внешней средой (дополнительные запасы, ущерб поверхностному стоку);
- возможность повторного участия уже использованных (возвратных) вод;
- возможность формирования новых запасов подземных вод (искусственное восполнение);
- возможность изменения качества подземных вод в период эксплуатации под влиянием как естественных, так и искусственных факторов;
- значительное превышение области формирования запасов над площадью участка водоотбора;
- взаимосвязь между водозаборными участками;
- зависимость величины отбора подземных вод от схемы эксплуатации.

Влияние среды сказывается на положении уровня подземных вод, изменении их качественных характеристик и величины запасов.

Изучение месторождений подземных вод связано с анализом и проработкой целого ряда сведений о природной обстановке района и подземных водах, а именно:

- выявление благоприятных геологических структур для накопления подземных вод;
- выявление благоприятного литологического состава пород для накопления подземных вод;
- выявление участков повышенной трещиноватости пород, выявление зон тектонических нарушений;
- выявление благоприятных гидрогеологических условий для формирования и питания подземных вод;
- анализ геоморфологических особенностей, особенно сказывающихся на условиях формирования грунтовых подземных вод (речные долины, конусы выноса, межгорные впадины);
- изучение гидрологических условий района;
- изучение климатических условий района как фактора, весьма активно влияющего на условия формирования подземных вод;

- установление общих закономерностей формирования, залегания и распространения подземных вод (поток, бассейн, границы распространения, условия формирования запасов и т.д.);

- изучение источников и режима питания водоносных горизонтов;

- изучение гидродинамических характеристик пласта (условия транзита и разгрузки подземных вод, скорость водообмена, связь с другими водоносными горизонтами);

- оценка расчетных гидрогеологических параметров пласта (коэффициентов фильтрации, уравнепроводности, водоотдачи и т.п.);

- выяснение граничных условий в плане и разрезе, как характеризующих форму взаимосвязи подземных вод с окружающей средой и оказывающих большое значение на выбор расчетных формул при оценке запасов;

- изучение качества воды с точки зрения пригодности для различных целей;

- оценка эксплуатационных запасов с точки зрения возможности удовлетворения потребностей народного хозяйства;

- изучение режима подземных вод;

- оценка возможности загрязнения подземных вод;

- изучение работы действующих водозаборов.

Изучение перечисленных вопросов может осуществляться полностью или частично, а также с различной детальностью в зависимости от стадии проведения работ и требований потребителя. На последних стадиях исследований необходимо дать полную характеристику водоносным горизонтам, обосновать обеспеченность объекта соответствующими запасами воды требуемого качества, установить наиболее рациональную схему эксплуатации месторождения и дать прогноз изменения гидрогеологических условий на будущее.

Согласно классификации эксплуатации подземных вод [16], месторождения подземных вод по степени их изученности подразделяются на следующие типы:

- освоенные;

- разведанные;

- оцененные (выявленные).

К освоенным относятся месторождения подземных вод, находящиеся в постоянной или периодической эксплуатации, эксплуатационные запасы которых, их количество и качество, а также условия водоотбора установлены по данным режимных наблюдений, санитарно-гигиенических, водоохраных и экологических обследований.

Разведанными считаются месторождения, изученные в степени, достаточной для обоснования решения о порядке и условиях их вовлечения в промышленное освоение.

К оцененным (выявленным) относятся месторождения, изученные в степени, позволяющей на основании существующей потребности или укрупненных технико-экономических расчетов обосновать их промышленное значение и целесообразность дальнейшей разведки.

Любое месторождение полезного ископаемого, равно как и подземных вод, должно быть как можно полнее и всесторонне изучено, равномерно, с минимальными затратами времени и средств, учитывая комплексное и рациональное использование природных ресурсов.

Все это легло в выработанные многолетней геологической практикой принципы проведения исследований. Основные из этих принципов следующие:

Принцип последовательного изучения заключается в постепенном наращивании знаний о месторождении или участке. Изучение осуществляется поэтапно (последовательно) от общего к частному.

Выражение последовательного изучения проявляется в стадийности гидрогеологических исследований, при этом выделяются следующие этапы изучения или использования месторождений подземных вод:

- региональная оценка прогнозных ресурсов;
- поисково-оценочные работы;
- разведка;
- эксплуатационная разведка.

Стадийность в каждом конкретном случае обосновывается в зависимости от сложности гидрогеологических условий, значимости объекта и других факторов.

Принцип полноты исследований заключается в необходимости изучения не только отдельных участков, но и всей площади месторождения. Учитывая динамизм подземных вод и взаимосвязь месторождений с внешней средой, необходимо изучение областей фильтрации, выявление естественных или искусственных границ пласта. Границы должны изучаться как в плане, так и в разрезе. Этот принцип включает и попутное изучение других полезных ископаемых, залегающих совместно с подземными водами, а также встречающихся слабо-минерализованных, минеральных и других типов вод.

Однако не надо понимать, что принцип полноты исследований требует исчерпывающего изучения месторождения. Степень изучения отдельных участков будет разная – на одних участках более детальная, на других менее детальная. Такая полнота исследований позволяет в случае увеличения величины использования подземных вод не производить всей разведки сначала, а воспользоваться имеющимися данными с небольшими дополнительными исследованиями детально изучить все месторождение.

Принцип равномерности изучения с учетом гидрогеологической неоднородности объекта и стадии работ предполагает более или менее равномерное освещение разведываемого месторождения для получения правильного представления об особенностях месторождения.

Участки со сложными гидрогеологическими условиями должны изучаться полнее, с проведением большого объема работ. При простых условиях разведочные выработки могут разряжаться. Инструкциями ГКЗ все типы месторождений подземных вод подразделяются по степени сложности гидрогеологических условий на три группы (с простыми, сложными и очень сложными гидрогеологическими условиями). Ко всем группам установлены требования к разведке и обоснованию категорий разведанных запасов (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Группировка месторождений подземных вод по сложности гидрогеологических условий

Группа сложности	Условия залегания водоподпитых горизонтов	Фильтрационные свойства водовмещающих пород	Источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод	Возможные изменения качества воды в процессе эксплуатации
I Простые гидрогеологические условия	Спокойное, выдержанное по мощности	Однородные	Изучены надежно	Обоснованно прогнозируемый
II Сложные гидрогеологические условия	Невыдержанные по мощности и строению	Неоднородные	Изучены: часть - надежно, часть - приближенно	Установлены приближенно расчетным путем (сложная гидрогеохимическая обстановка)
III Очень сложные гидрогеологические условия	Высокая изменчивость мощности и строения, ограниченное (очаговое) распространение	Высокая изменчивость	Изучены приближенно	Ориентировочно установлены (весьма сложная гидрогеохимическая обстановка)

При определении сложности гидрогеологических условий месторождений подземных вод учитываются: характер залегания и строение водоносных горизонтов, изменчивость фильтрационных свойств и мощности водовмещающих отложений, характер граничных условий водоносных горизонтов, условия формирования эксплуатационных запасов подземных вод, гидрохимические и экологические условия разработки месторождений.

Первая группа месторождений подземных вод характеризуется простыми гидрогеологическими и гидрохимическими условиями со спокойным залеганием водоносных горизонтов, выдержанных по мощности и строению и однородных по фильтрационным свойствам

водовмещающих пород. При отработке этой группы месторождений количественный ущерб окружающей природной обстановке хорошо прогнозируем.

К этой группе относятся месторождения в артезианских бассейнах, в конусах выноса предгорных шлейфов и межгорных впадин.

Месторождения в речных долинах могут быть отнесены к этой группе при условии обеспеченного восполнения эксплуатационных запасов за счет поверхностных вод постоянных водотоков или водоемов.

Ко второй группе относятся месторождения подземных вод, характеризующиеся сложными гидрогеологическими условиями, обусловленными невыдержанной мощностью и строением водовмещающих пород и неоднородностью их фильтрационных свойств. К ним могут быть отнесены месторождения подземных вод в артезианских бассейнах и в трещиноватых массивах с простыми гидрохимическими условиями.

К этой же группе относятся месторождения со сложными гидрохимическими условиями (зачастую в песчаных массивах пустынь и полупустынь и в артезианских бассейнах), а также в речных долинах, ограниченных по площади структурах или массивах трещиноватых и трещино-карстовых пород, формирование эксплуатационных запасов подземных вод которых периодически осуществляется за счет поверхностных вод.

Влияние отбора подземных вод всех этих месторождений на окружающую природную среду, приближенно оцененное по результатам разведочных работ, незначительное.

Месторождения, отнесенные к третьей группе, характеризуются очень сложными гидрогеологическими условиями вследствие высокой изменчивости мощности и строения водоносных горизонтов и фильтрационных свойств водовмещающих пород. Это, например, месторождения в краевых частях артезианских бассейнов платформенного типа с неявно выраженными источниками формирования эксплуатационных запасов подземных вод.

Отнесены к этой группе месторождения подземных вод с очень сложными гидрохимическими условиями, а также не обеспеченные питанием поверхностными водами месторождения трещиноватых и трещино-карстовых вод ограниченного распространения.

Эффективная эксплуатация месторождений этой группы возможна, зачастую, лишь при искусственном подпитывании водозаборов или организации сложных систем водозаборных сооружений.

Прогноз последствий водозабора на окружающую природную среду не поддается расчетам, а оценивается только на основании анализа общей геоэкологической обстановки.

Отнесение конкретного месторождения и водозаборного участка к той или иной группе сложности требует обоснования в каждом конкретном случае.

Принцип максимальной геологической информации заключается в размещении разведочных скважин с учетом получения наибольшей информации о геологическом строении и гидрогеологических условиях изучаемого объекта.

Принцип минимальных затрат труда, времени и средств предполагает, что на каждой стадии изучения объемы работ и затраты труда и времени должны быть минимальными, но в то же время позволяли решать поставленные задачи. Этот принцип предопределяет тщательный анализ гидрогеологической информации по району исследований на стадии проектирования, творческий подход гидрогеолога к выбору методов проведения гидрогеологических и других видов исследований, правильное понимание требований и нормативных актов проведения геологоразведочных работ. Необходимы расчет прогнозной оценки степени гидрогеологической сложности месторождения и учет имеющегося по району исследований опыта эксплуатации подземных вод. В результате может быть решен вопрос об объединении во времени отдельных стадий поисков и разведки месторождений подземных вод.

Принцип охраны окружающей (геологической) среды по содержанию состоит из двух разделов:

1) требования, связанные с обоснованием предупредительных мероприятий по охране окружающей среды от негативного влияния техногенных процессов при длительной эксплуатации водозаборных сооружений;

2) защита подземных вод от загрязнения и истощения.

Принцип рационального и комплексного использования природных ресурсов предполагает их научно-обоснованное использование в народном хозяйстве с наибольшим экономическим эффектом. Так использование подземных вод может способствовать сокращению поверхностного стока, что должно заранее прогнозироваться и учитываться. Эксплуатация одних месторождений может влиять на работу других и снижать их геолого-промышленную ценность.

Комплексное использование водных ресурсов предполагает использовать все полезные свойства воды для удовлетворения разнообразных потребителей. Так пресные воды могут быть использованы для водоснабжения, орошения и т.п.; теплоэнергетические подземные воды — для теплофикации, теплоснабжения, отопления парников, для прудов интенсивного рыборазведения, орошения.

Все перечисленные принципы должны обязательно учитываться при проведении гидрогеологических исследований и применяться они должны с учетом природных условий, характера и особенностей поставленных задач, условий промышленного освоения месторождений.

При производстве гидрогеологических исследований осуществляется комплекс работ, позволяющий получить гидрогеологическую информацию. В целом, методы получения информации можно разделить на основные и вспомогательные.

Основные методы – непосредственно устанавливающие гидрогеологические условия изучаемого месторождения и определяющие промышленную ценность этого месторождения:

- гидрогеологическая съемка различного масштаба;
- бурение скважин;
- полевые опытно-фильтрационные работы;
- режимные наблюдения.

Вспомогательные методы – способствуют наиболее рациональному получению информации и облегчают применение основных методов:

- геофизические исследования;
- балансово-гидрометрические исследования;
- моделирование гидрогеологических процессов и др.

Обработка результатов, полученных при каждом конкретном методе исследований, осуществляется как непосредственно на месте проведения работ, так и в камеральный период. При обработке гидрогеологической информации (особенно результатов опытных работ, режимных наблюдений, геофизических работ) в настоящее время широко применяются методы вычислительной техники. Для хранения материала существуют региональные банки данных.

Вопросы для контроля

1. Назовите виды гидрогеологических исследований и дайте их краткую характеристику.
2. Что понимается под термином «месторождение подземных вод»?
3. Каково различие между месторождением подземных вод и водозаборным участком?
4. Какие сведения о природной обстановке изучаются при поисках и разведке подземных вод?
5. Каковы основные принципы проведения гидрогеологических исследований?
6. Основные и вспомогательные методы получения гидрогеологической информации?

2. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЪЕМКА И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ

Гидрогеологическая съемка территории ставит своей целью изучение гидрогеологических условий и картирование составляющих их элементов.

Это следующие элементы:

- распространение водоносных и неводоносных пород;
- залегание водоносных и неводоносных пород;
- основные параметры водоносных и неводоносных пород;
- литология водоносных и неводоносных пород;
- водные свойства водоносных и неводоносных пород;
- химическая характеристика подземных вод.

Гидрогеологическая съемка должна оценить особенности питания и разгрузки подземных вод, взаимосвязь водоносных горизонтов.

Выясняется также влияние природных факторов на формирование ресурсов и состава подземных вод, таких как геологические, геоморфологические, гидрологические, климатические, биогенные, технологические и других.

Главная задача гидрогеологической съемки – составление гидрогеологических карт, которые являются основой для поисков подземных вод, выявления закономерностей их распространения и формирования, определения путей рационального, комплексного использования и охраны вод от загрязнения, прогноза их режима, реконструкции гидрогеологических условий прошлых эпох.

Гидрогеологическая съемка подразделяется на:

- мелкомасштабную 1:1000000, 1:500000;
- среднемасштабную 1:200000, 1:100000;
- крупномасштабную 1:50000 и крупнее.

Мелкомасштабная съемка проводится в не изученных в гидрогеологическом отношении районах. Цель этой съемки – общая оценка водоносности пород и качества подземных вод верхней части разреза (примерно до глубины 50-100 м), выяснение основных особенностей их питания, движения и разгрузки.

В результате съемки должны быть выделены и закартированы основные горизонты и комплексы, примерно соответствующие отделу системы или его части.

Среднемасштабная съемка также ведется с целью оценки общих гидрогеологических условий. Детальность съемки должна обеспечивать картирование водоносных горизонтов и комплексов, соответствующих примерно стратиграфическому ярусу или его части.

Круг вопросов, подлежащих изучению расширяется:

- поиск подземных вод для различных целей;

- перспективность отдельных участков для организации водоснабжения, орошения и пр.;
- роль различных факторов в формировании подземных вод;
- участие подземных вод в геологических процессах;
- водоносность пород;
- качество и режим подземных вод.

Глубина картирования обычно не превышает 100-200 м. В этом интервале наиболее детально изучаются основной водоносный горизонт и перекрывающие его отложения. Водоносные горизонты, залегающие на глубинах 200-500 м, изучаются отдельными скважинами, глубже – по результатам ранее проведенных геологоструктурных и геофизических работ.

Крупномасштабная съемка применяется для решения специальных задач, таких как выбор участка водозабора, выявления состава и запасов подземных вод, изучения обводненности месторождения, изучения обводненности участка предстоящего строительства, установления условий мелиорации сельскохозяйственных земель.

В процессе съемки картируются те водоносные горизонты, изучение которых решает поставленные задачи. Детальность картирования должна обеспечить выделение горизонтов в пределах свиты и более мелких гидрогеологических подразделений.

Таким образом, мелко- и среднемасштабные съемки называются общими, крупномасштабные называются специальными.

Общая съемка применяется на этапе регионального государственного гидрогеологического картирования. Специальная съемка применяется на этапе поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (в том числе и подземных вод), на этапах проектирования мелиоративных и других инженерных мероприятий или сооружений, связанных с изучением, использованием или удалением подземных вод.

Гидрогеологически съемочные работы подразделяются на два этапа – подготовку к полевым работам (предполевой этап), непосредственно полевые работы (полевой этап) и камеральная обработка материала.

Подготовка к полевым работам состоит из составления проекта работ, научно-методического обоснования проведения съемочных работ и организации работ.

Проект работ составляется на весь срок гидрогеологических исследований на основании рукописных и опубликованных материалов по району.

В проекте выделяются две части: гидрогеологическая и производственно-техническая. В гидрогеологической части обосновываются задачи и название работ, масштаб и площадь съемки; описываются геологические и гидрогеологические условия района; определяются виды, объемы, методика работ, сроки проведения работ, перечень карт и документов, получаемых в результате съемки.

В производственно-технической части обосновывается выбор оборудования и транспортных средств, определяются меры по технике безопасности и организации полевых работ. Особое внимание уделяется выбору буровых станков, насосов, фильтров и т.п.

Научно-методическая подготовка к полевым работам продолжается после составления проекта и длится до выезда в поле.

Подготовка включает:

- проработку литературы и фондовых материалов по геологии, гидрогеологии, геоморфологии, климатологии, гидрологии района. Знакомство с керном скважин, опытными работами, режимными наблюдениями, дешифрирование аэро- и космоснимков;

- изучение методики исследований, современных методов и приемов проведения работ, в т.ч. ЭВМ и другие современные методы;

- составление рабочей программы исследований, где устанавливается время и последовательность проведения работ.

Здесь составляется ряд картографических документов:

- схемы изученности;
- схематические геолого-литологические карты;
- схематические гидрогеологические карты;
- карты имеющегося фактического материала и другие.

В процессе организации работ партия комплектуется инженерно-техническим персоналом, оснащается необходимым снаряжением, транспортными средствами, оборудованием, материалами и транспортируется к месту работы.

При производстве гидрогеологической съемки применяют следующие методы исследований:

- маршрутные исследования;
- картировочное бурение;
- гидрогеологическое опробование скважин;
- режимные наблюдения;
- геофизические работы;
- аэрофотосъемка и аэровизуальные наблюдения;
- лабораторные работы.

Для скорейшего достижения цели выбирается рациональный комплекс этих исследований. Топографические карты и геологические карты должны быть того же масштаба, что и масштаб съемки.

Полевые работы начинают с рекогносцировки района (по возможности с воздуха). Изучаются основные разрезы, крупные месторождения, совместно проводятся несколько маршрутов для выработки общего (единообразного) подхода. Далее приступают к систематическим маршрутным исследованиям и режимным наблюдениям. Затем применяют геофизические методы. Затем

приступают к бурению скважин, гидрогеологическому их опробованию, промыслово-геофизическим исследованиям в скважинах.

Маршрутные исследования проводятся с целью изучения и картирования таких природных проявлений, как геоморфологические элементы, выходы пород на поверхность, границы распространения литолого-фациальных толщ, тектонических зон, водоносных горизонтов, отдельных водопунктов, физико-геологических явлений, ручьев, рек, озер, различной растительности.

Расположение и частота маршрутов зависят от масштаба и целей съемки, сложности геолого-гидрогеологических условий, результатов дешифрирования, от рельефа и проходимости. Маршруты должны достаточно равномерно охватывать всю площадь съемки (1-2 маршрута на 1 см² карты в масштабе съемки). Каждый маршрут должен преследовать определенные цели – прослеживание водоносного горизонта, контакта, нарушения, водопунктов и т.п.

Выделяются следующие основные виды маршрутных наблюдений:

- геоморфологические;
- геологические;
- гидрогеологические;
- гидрологические;
- геоботанические;
- геокриологические (мерзлотные).

Эти виды наблюдений в маршрутах ведутся комплексно и непрерывно. Непосредственно в поле составляется маршрутная карта, и наносятся точки наблюдения. Количество точек наблюдения зависит от сложности условий, обводненности территории и постоянства гидро-геологических характеристик.

Геоморфологические наблюдения ставят своей целью изучение различных форм рельефа и их влияние на распространение, и формирование подземных вод; получение материала для картирования геологических структур; выявление характера, направленности и интенсивности физико-геологических явлений; оценивание влияния геоморфологических условий на инженерные сооружения.

Геологические наблюдения заключаются: в изучении литологии, условий залегания, пористости и трещиноватости пород с целью установления условий их обводненности; сопоставлении геологической основы с наблюдаемым разрезом; изучении зон тектонических нарушений; привязки выделяемых водоносных горизонтов и комплексов к определенным литолого-стратиграфическим толщам; изучении геологических явлений.

Гидрогеологические наблюдения направлены на изучение степени и характера водоносности пород, глубины залегания подземных вод,

условий питания, движения и разгрузки подземных вод; оценку физических свойств и химического состава подземных вод.

Объектом исследования при гидрогеологических наблюдениях являются источники, колодцы, гидрогеологические скважины, горные выработки, мочажины. При изучении этих объектов освещаются и заносятся в полевые дневники следующие сведения:

- географическое положение объекта (топографическая привязка);
- орографическое положение, превышение над местным базисом эрозии, экспозиция склона;
- абсолютная высота водопункта;
- возраст, состав, трещиноватость и другие свойства пород-коллекторов;
- условия выхода воды;
- дебит водопункта;
- физические свойства воды;
- химический состав, минерализация, радиоактивность и микрофлора воды;
- газовый состав;
- отложение водопунктов (травертины, гейзериты, сера и т.п.);
- режим водопункта;
- характер каптажа;
- практическое использование воды;
- подъездные пути к водопункту.

Гидрологические наблюдения, зачастую имеют весьма важное значение и заключаются в изучении взаимосвязи подземных и поверхностных вод; измерении расходов поверхностных вод, выяснении физических свойств и химического состава поверхностных вод.

Геоботанические наблюдения позволяют получить важные сведения о глубине залегания грунтовых вод, степени их минерализации, местах питания и разгрузки вод, направлении их движения, о вещественном составе и фильтрационных свойствах водовмещающих пород.

Картировочное бурение ставит перед собой следующие задачи:

- изучение геологического строения территории до глубин 100-200 м и более;
- вскрытие и гидрогеологическое опробование водоносных горизонтов;
- прослеживание границ распространения первых от поверхности водоносных горизонтов;
- оконтуривание участков распространения подземных вод с различными особенностями по минерализации, химическому составу, ресурсам и т.п.

Количество картировочных скважин зависит от сложности гидрогеологических условий. Располагаются они, как правило, по

профилям вкрест простирацию геоморфологических элементов, по направлению движения грунтовых вод.

Глубина скважин различная. Неглубокие (30-50 м) скважины бурятся для вскрытия зоны аэрации и первых от поверхности водоносных горизонтов. Скважины средней глубины (100-150 м) проходятся для изучения межпластовых водоносных горизонтов, трещино-жильных и карстовых вод, вод конусов выноса и т.п. Глубокие скважины (до 500 м и более) закладываются для вскрытия и изучения глубоких водоносных горизонтов и для установления зональности подземных вод.

В процессе бурения скважин описывается гидрогеологический разрез, ведутся наблюдения за появлением воды, ее уровнем, температурой, фиксируются провалы инструмента, отбираются образцы пород и пробы воды. Ведутся буровые журналы установленного образца. Ведутся наблюдения за промывочной жидкостью (глинистым раствором) – уровнем, поглощением, изменением консистенции. После окончания бурения скважина оборудуется для опробования вскрытых водоносных горизонтов.

При гидрогеологической съемке проводятся пробные откачки из скважин, наливы в шурфы, режы нагнетания. Эти опытные работы необходимы для определения расчетных параметров водоносных горизонтов.

Режимные наблюдения необходимы для установления общих закономерностей изменения режима подземных вод (уровня, температуры, дебита, качества и т.п.) в зависимости от воздействия различных природных факторов и в результате хозяйственной деятельности человека. Продолжительность наблюдений – 1-2 года. По этим результатам можно предварительно оценить режим, баланс и условия формирования подземных вод и наметить режимную сеть для стационарных наблюдений. По результатам исследований составляются годовые таблицы и графики наблюдений, карты гидроизогипс и глубин залегания на каждый период, гидрохимические карты.

Геофизические работы, их цели и задачи:

- гидрогеологическая стратификация разреза;
- изучение и оценка вещественного состава и фильтрационных свойств пород;
- изучение и картирование разрывных дислокаций, зон трещиноватости карстовых пустот;
- выявление погребенных долин;
- картирование грунтовых вод с различной минерализацией;
- определение глубин залегания грунтовых вод в песчано-галечниковых отложениях;
- установление направления и скорости движения подземных вод;
- выявление областей разгрузки подземных вод;

- исследование мерзлых пород.

Методы: ВЭЗ, электропрофилирование (иногда, возможно, и гравиразведка). Работы могут вестись при профильной площадной съемке или на ключевых участках.

Аэрофотосъемка и аэровизуальные наблюдения применяются для изучения:

- физико-географической обстановки;
- структурно-геологической обстановки;
- картирования грунтовых вод;
- картирования физико-геологических явлений;
- уточнения местоположения ключевых и контрольных участков;
- выявления дешифровочных признаков.

Рекомендованные соотношения между масштабами гидрогеологической съемки и аэрофотоматериалов:

масштаб съемок	масштаб аэрофотоснимков
1:1 000 000	1:50 000 - 1:60 000
1:500 000	1:40 000
1:200 000	1:25 000 - 1:30 000
1:100 000	1:17 000 - 1:25 000
1:50 000	1:10 000 - 1:17 000
1:25 000	1:10 000
1:10 000 и крупнее	1:5 000

Гидрогеологическое дешифрирование представляет сложную задачу, охватывающую комплекс признаков: топографических, гидрогеологических, геологических, геоботанических, геокриологических, гидрологических.

Аэровизуальные наблюдения применяются при рекогносцировочных исследованиях и при съемке для корректировки наземных наблюдений.

Гидрогеологические карты составляются по результатам гидрогеологической съемки, обработки фондовых и литературных материалов и различаются:

- а) по степени обоснованности фактическим материалом:

- кондиционные;
- некондиционные;

- б) по масштабу:

- обзорные (1:1 000 000 и мельче);
- мелкомасштабные (1:500 000-1:1 000 000);
- среднемасштабные (1:100 000-1:200 000);
- крупномасштабные (1:25 000-1:50 000);
- детальные (1:25 000 и крупнее);

- в) по целевому назначению и содержанию:

- общие, для полной характеристики гидрогеологических условий территории;
- специальные, для решения узкой, предварительно поставленной задачи;
- г) по способу графического оформления:
 - совмещенные;
 - расчлененные.

Карты составляются по общепринятым методикам, утвержденным и разработанным научно-исследовательскими институтами.

На картах, составляемых при региональной государственной гидрогеологической съемке, показываются следующие данные:

- 1) цветом и цветной горизонтальной или диагональной штриховкой – площади распространения водоносных горизонтов (комплексов), водопроницаемых, но безводных пород, водоносных горизонтов с водами спорадического распространения с указанием возраста изображаемых толщ;
- 2) крапом – площади минерализации подземных вод для первого от поверхности водоносного горизонта (комплекса); в определенных градациях (г/дм^3). Иногда крупные области разделяются границами минерализации;
- 3) цифры у значков водопунктов – его номер, индекс возраста водовмещающих пород, дебит ($\text{дм}^3/\text{с}$), размер понижения (м), глубина до воды (м), минерализация воды (г/дм^3). Цветом в значке показывается химизм;
- 4) линиями – границы распространения водоносных горизонтов (комплексов), гидроизогипсы;
- 5) стрелками – направление движения подземных вод.

Могут показываться и другие элементы. Карта сопровождается гидрогеологическими разрезами.

Вопросы для контроля

1. Задачи гидрогеологической съемки.
2. Факторы, влияющие на формирование ресурсов и состава подземных вод.
3. Подразделение гидрогеологических съемок по масштабам.
4. Элементы подготовки к полевым съемочным работам.
5. Методы исследований при гидрогеологической съемке.
6. Изучаемые и картируемые элементы при съемочных работах.
7. Какие вопросы подлежат изучению при исследовании родников?
8. Задачи картировочного бурения.
9. Наблюдаемые элементы при производстве режимных наблюдений.
10. Различие гидрогеологических карт по масштабу.

3. БУРОВЫЕ РАБОТЫ И ИХ ЗАДАЧИ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Бурение скважин и их опробование являются основным видом гидрогеологических исследований и надежным методом получения гидрогеологической информации. Это определяется многими факторами:

- бурение скважин позволяет получить непосредственный результат по геолого-литологическому разряду, условиям залегания и распространения водоносного горизонта, а также сведения о перекрывающих и подстилающих толщах;

- буровые скважины – самое эффективное средство, позволяющее оценить качество и количество подземных вод как продуктивного, так и смежных водоносных горизонтов;

- по скважинам, пробуренным на разведываемых участках можно получить сведения о фильтрационных свойствах пород, определить их гидрогеологические параметры;

- буровые скважины – наиболее эффективное средство для каптажа подземных вод.

В комплекс буровых работ входит: выбор схемы размещения скважин на площади работ в зависимости от стадии исследований, сложности гидрогеологических условий и пр.; непосредственно бурение скважин, их документация по мере проходки, предварительное опробование подземных вод и каротаж; подготовка скважин к опробованию или эксплуатации (оборудование фильтровой частью).

По назначению все гидрогеологические скважины разделяются на следующие категории:

- поисковые, поисково-картировочные;
- разведочные;
- разведочно-эксплуатационные;
- наблюдательные;
- эксплуатационные (водозаборные, дренажные, поглощающие, нагнетательные).

Поисковые, поисково-картировочные скважины бурятся на стадии поисково-съёмочных работ. Цель бурения – предварительная оценка качества подземных вод, проведение пробных откачек, изучение геолого-гидрогеологических условий и выявление водоносных горизонтов и комплексов, выбор наиболее продуктивного водоносного горизонта.

Разведочные скважины проходят при разведке подземных вод на перспективных участках месторождений для детального изучения гидрогеологических условий. Служат для проведения в них большого комплекса гидрогеологических и других видов исследований. Буровые

работы сопровождаются отбором керна, комплексом каротажных работ, гидрогеологическими наблюдениями.

Разведочно-эксплуатационные скважины проходят обычно при детальной разведке на месте будущего водозабора. В них предполагается полный комплекс исследований для осуществления разведки, а затем эти скважины должны передаваться в эксплуатацию. Это обстоятельство предъявляет высокие требования к качеству бурения и оборудования скважин с тем, чтобы обеспечить ее работу на срок эксплуатации водозабора.

Наблюдательные скважины закладываются на любой стадии исследований и могут быть использованы как для наблюдения за режимом подземных вод, так и для наблюдения за изменением уровня воды при полевых опытно-фильтрационных работах. Эти скважины могут быть пробурены для наблюдения за снижением уровней подземных вод в зоне действия водозаборных сооружений.

В процессе поисково-разведочных работ скважины могут переходить из одной категории в другую: поисковые скважины в разведочные, поисковые и разведочные – в наблюдательные.

Конструкция гидрогеологической скважины в каждом конкретном случае выбирается в зависимости от ее назначения, геолого-гидрогеологических условий и экономической эффективности.

К конструкциям скважин предъявляются ряд требований, а именно:

- эффективное и безопасное ведение работ;
- качественное опробование изучаемых водоносных горизонтов при последующей изоляции;
- возможность размещения в скважине всего необходимого оборудования для испытания, каротажа, специальных исследований;
- выполнение всего необходимого комплекса наблюдений и исследований;
- защита водоносных горизонтов от загрязнения и перетекания подземных вод из соседних горизонтов;
- устойчивость использования скважин при ее эксплуатации;
- сооружение скважин с минимальными затратами времени, средств и труда;
- возможность при необходимости проведения ремонтных и ликвидационных работ.

Все эти требования обуславливают конструкцию скважины, т.е. ее глубину, диаметры, количество колонн обсадных труб, организацию фильтровой части, устьевое оборудование скважины.

Глубина скважины зависит от глубины залегания водоносного горизонта и степени его вскрытия. При применении в качестве

откаченного средства эрлифта глубина скважины должна удовлетворять требованиям глубины загрузки смесителя.

Диаметр скважины в пределах установки насосного оборудования (эксплуатационный диаметр) должен удовлетворять требованиям установки насосного оборудования (на 50-100 мм больше диаметра насоса). Конечный диаметр бурения должен обеспечивать установку фильтра и получение необходимого дебита при опробовании, а если это необходимо и длительной эксплуатации. Водоприемная часть скважины в зависимости от устойчивости водоносных горизонтов может быть фильтровой и безфильтровой. Безфильтровые скважины оборудуются в устойчивых трещиноватых и закарстованных породах.

Фильтровые скважины оборудуются фильтрами различной конструкции с тем, чтобы обеспечить благоприятные условия для притока воды, уменьшения пескования и глинизации скважины. Фильтры должны обеспечивать долговечную работу скважины.

В зависимости от грансостава водовмещающих пород устанавливаются: каркасно-стержневые, сетчатые, проволочные, гравийные, трубчатые (с круглой и щелевой перфорацией), полиэтиленовые и др.

Длина фильтровой части выбирается исходя из мощности водоносного горизонта, или глубины вскрытия. Наиболее проста эмпирическая формула по ориентировочному определению длины фильтра для скважины с проектным дебитом:

$$l_0 = \frac{\alpha \cdot Q}{d}, \quad (3.1)$$

где Q – проектный дебит скважины, м³/час;

d – наружный диаметр фильтра, мм;

α – эмпирический коэффициент, зависящий от коэффициента фильтрации водоносных пород (от 30 – для гравийно-галечников до 90 – для мелкозернистых песков).

Диаметр фильтра должен быть на 50-100 мм меньше внутреннего конечного диаметра скважины. При гравийной обсыпке зазор должен быть больше.

Изоляция водоносных горизонтов является одной из важнейших операций в гидрогеологических скважинах. Изоляция позволяет качественно проводить опробование водоносных горизонтов и исключить перетекание подземных вод. Способ изоляции зависит от целей и способа бурения и включает:

- задавливание обсадных колонн в глинистые водоупорные подстилающие отложения (на 5 м);
- в скальных породах задавливание в разбуренный стакан, заполненный глиной или цементом;

- затрубная цементация для изоляции испытуемого горизонта от вышележащего (через заливочные трубки, с помощью цементировочных головок и т.п.);

- манжетная или диафрагмовая цементация (в случае опускания обсадной колонны вместе с фильтром на конце);

- затрубная цементация обсадных колонн вместе с хвостовиком (через забой) с последующим прострелом труб.

Устьевая часть скважины образуется так, чтобы обеспечивалось условие регулирования процесса огкачки, измерения уровней и дебита, проведения геофизических и специальных работ, возможностей отбора проб воды и газа.

Поисковые, поисково-картировочные скважины имеют простую конструкцию и при благоприятных разрезах не обсаживаются (за исключением верхней части). При сложных гидрогеологических условиях обсаживаются одной обсадной колонной. Диаметры скважин обычно 132 - 76 мм.

Разведочные скважины обязательно оборудуются водоподъемной колонной и кондуктором (направлением). Иногда скважина состоит из одной или нескольких промежуточных колонн, что помогает избежать поглощение промывочной жидкости на отдельных интервалах и изолирует верхние водоносные горизонты. Изоляция осуществляется цементным раствором (тампонаж).

В конструкции гидрогеологических скважин различают:

- направление (кондуктор);
- техническую (промежуточная) колонну;
- эксплуатационную колонну.

В скважинах глубиной до 150-200 м техническая колонна не применяется.

Разведочно-эксплуатационные скважины, рассчитанные на длительную работу в условиях эксплуатации, обычно оборудуются затрубной цементацией. Эта цементация исключает перетекание подземных вод из разных водоносных горизонтов. Конструкции скважин бывают различными:

- телескопическая (при ударно-канатном бурении);
- одноколонная (при напорных горизонтах глубиной 500 м);
- многозабойные (при проходке в трещинно-карстовых отложениях).

Наблюдательные скважины имеют более простую конструкцию. Это, как правило, одноколонная скважина с цементуемым оголовком. Диаметры обычно 73-108 мм.

Документация скважин ведется в процессе буровых работ и подразделяется на техническую, геологическую и гидрогеологическую. Документация ведется в специальном журнале, где фиксируются данные по технологии проходки скважин (конструкция, проходка за смену,

техническое состояние скважины, условия отбора керна, возможные осложнения и пр.), геологическим условиям (первичное описание керна и шлама), гидрогеологическим условиям (режим промывочной жидкости, провалы инструмента, появление и уровень воды, отбор проб и пр.).

Способ бурения скважин выбирается в зависимости от конкретных геолого-гидрогеологических условий, целевого задания, глубины залегания водоносных горизонтов, предполагаемых дебитов и т.п.

В настоящее время в практике гидрогеологических исследований применяются следующие способы проходки скважин:

- вращательный с прямой промывкой глинистым раствором;
- вращательный с продувкой забоя воздухом;
- вращательный с обратной промывкой;
- ударно-канатный;
- комбинированный способ.

Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки и применим в конкретных условиях. На некоторых из них и остановимся.

Вращательное бурение с промывкой глинистым раствором применяется при бурении в породах различной твердости и на разные глубины, при этом достигаются высокие скорости проходки. Конструкция скважины неметаллоемкая. Однако, в связи с кольматацией стенок скважины глинистым раствором, опробование водоносных горизонтов связано с необходимостью разглинизации скважины. Необходима также доставка на буровую большого количества глины и воды, наличие которой в технологическом процессе усложняет работы в зимнее время.

Вращательное бурение с продувкой забоя воздухом применяется в безводных районах, на водоносные пласты с незначительными водопритоками (до 3 дм³/с), в устойчивых разрезах. Этим бурением достигаются высокие скорости, возможность качественного опробования скважин (отсутствие кольматации), бурение по поглощающим разрезам. Применение метода ограничивается бурением лишь устойчивых разрезов. Бурение невозможно при больших водопритоках в скважину и глубинах более 300 м.

Вращательное бурение с обратной промывкой осуществляется в мягких и рыхлых породах до глубины 300 м при создании высокодебитных скважин большого диаметра (до 1500 мм). Достигаются высокие механические скорости бурения и высокое качество вскрытия пласта. Ограничивается глубиной бурения до 200-300 м, а бурение ведется лишь в мягких и рыхлых породах.

Ударно-канатный способ бурения применяется при малоизученных гидрогеологических разрезах в породах, поглощающих промывочную жидкость и имеющих валунно-галечниковый разрез. К положительным

факторам относится: качественное вскрытие пласта, отсутствие при бурении глины и воды, бурение по сложным валунно-галечниковым разрезам большими диаметрами. К недостаткам – большой расход обсадных труб, низкие скорости бурения, незначительные глубины.

Комбинированный способ бурения применяется в тех случаях, когда слабо изучены геолого-гидрогеологические условия или при особых требованиях, предъявляемых к скважинам:

- верхняя часть разреза проходится вращательным способом (для быстроты проходки), а водоносные породы – ударно-канатным (для получения более достоверной информации о водоносных горизонтах);
- верхняя часть высокодебитной скважины (эксплуатационная колонна) в пределах установки высокодебитного насоса большого диаметра проходится ударно-канатным способом, а нижняя – вращательным. Достигается установка крупноразмерного насосного оборудования и высокая скорость строительства скважины.

Для выявления водоносных горизонтов, изучения их состава, условий залеганий, химического состава подземных вод и получения другой информации проводятся гидрогеологические наблюдения, которые ведутся непосредственно при бурении скважин, а также при их гидрогеологическом опробовании в процессе бурения.

Наблюдения заключаются в следующем (наблюдаемые факторы):

- уровни подземных вод;
- литологические особенности водовмещающих пород;
- состояние глинистого раствора и его поглощение;
- провалы бурового инструмента;
- выход керна;
- температура вскрываемых вод и газопроявления.

Осуществляется также отбор воды, газа, образцов керна для лабораторных исследований.

При бурении без промывки наблюдения за уровнями подземных вод легко осуществимы обычным способом. При бурении с глинистой промывкой вскрытие водоносного горизонта косвенно фиксируется или по увеличению (в случае проходки по водоносному горизонту), или по полному поглощению (при бурении по сухим проницаемым породам) промывочной жидкости, по изменению параметров глинистого раствора (плотность и вязкость) вследствие разбавления его пластовой водой.

Обычно замеры уровней производятся в перерывах в бурении (подъем снаряда, отбор керна и т.п.). Отбор керна осуществляется специальными колонковыми трубами и грунтоносами.

Температурные наблюдения могут осуществляться как в процессе бурения, так и по его завершении. По результатам можно судить о геотермических условиях разреза.

Наблюдения за провалами инструмента осуществляются при бурении по трещиноватым и карстующимся породам. Провалы инструмента указывают на наличие в разрезе крупных пустот и полостей.

При бурении на высокоминерализованные минеральные и промышленные воды проводятся наблюдения за химическим составом промывочной жидкости (на один или два характерных компонента). Отбор проб воды осуществляется желонкой или пробоотборником в перерывах между бурением.

Для получения представительной информации при бурении осуществляют иногда кратковременные откачки желонкой или наливов (экспресс-опробование). Применяют метод опережающего опробования, когда в скважину вводят фильтр-опробователь, задавливаемый в водоносный горизонт.

Результаты всех наблюдений вводятся в журналы, таблицы, а также составляются колонки скважин.

Вопросы контроля

1. Категории гидрогеологических скважин.
2. Какие требования предъявляются к конструкции гидрогеологических скважин?
3. Каковы способы проходки гидрогеологических скважин, их достоинства и недостатки?
4. Приведите примеры конструкций скважин комбинированного бурения.
5. Гидрогеологические наблюдения при бурении скважин.

4. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

К техническим средствам, применяемым при поисково-разведочных работах, относятся: водоподъемное оборудование для проведения откачек, оборудование для проведения нагнетания и наливов, приборы для замера уровней, температуры, дебита подземных вод, комплекты оборудования для изоляции водоносных горизонтов, приборы и оборудование для гидрогеологического опробования скважин.

Водоподъемное оборудование используется для проведения откачек воды из скважин.

Горизонтальные центробежные насосы применяются при положении динамического уровня в скважине не глубже 7 м. Диаметры скважин 89-250 мм и выше. Подача воды от 0,7 до 360 м³/час. Использование таких насосов ограничено незначительными динамическими уровнями при откачке.

Эрлифты – наиболее часто встречающееся откачное оборудование особенно при пескующих скважинах. Подъем воды на 60-80 и более метров осуществляется воздухом, нагнетаемым в воду по воздухопроводной трубе при помощи компрессора. Эмульсия из смеси воды и воздуха меньше по сравнению с водой плотности поднимается по водоподъемной колонне.

Глубина погружения эрлифта:

$$l = K \cdot h, \quad (4.1)$$

где l – глубина погружения воздухопроводной трубы, м;

K – коэффициент, равный отношению глубины погружения смесителя к высоте подъема воды (1,9-3,0);

h – расстояние от динамического уровня до точки излива эмульсии, м.

Глубина гидрогеологической скважины иногда зависит от глубины погружения смесителя. Для наблюдения за положением уровня воды в скважине при откачке целесообразно устанавливать пьезометр, нижний конец которого необходимо опустить на 8-10 м ниже самого смесителя. Для подачи мутной воды из скважины применяются вибрационные водоподъемники, действующие по принципу сообщения столбу воды в скважине ускорения, большего, чем 9,8 м/с. и водоструйные установки, в основу которых положен принцип непосредственной передачи энергии от одного потока с большим запасом энергии к другому – с меньшим запасом.

При больших динамических уровнях и малой производительности скважин применяются штанговые поршневые насосы.

Откачка воды из скважин часто осуществляется вертикальными насосами. Артезианские насосы с вертикальным валом типа АТН 1: НА

применяются обычно в неглубоких скважинах строго вертикальной конструкции. Достоинство насосов этого типа заключается в том, что их электрическая часть (электродвигатель) находится на поверхности, недостаток – критичен к конструкции скважины, лучше работает при неглубоком залегании уровней. Подача воды зависит от количества колес насоса и может достигать 70-186 м³/час.

Артезианские погружные насосы типа ЭЦВ устанавливаются в скважину с погружением электродвигателя под динамический уровень. Пригодны только для откачки осветленной воды. В последние годы все чаще применяются при гидрогеологических исследованиях. Для подачи электроэнергии используются передвижные электростанции. Максимальные диаметры скважин для установки высокопроизводительных насосов 375 мм, дебиты 375 м³/ч (чаще 10, 25, 40, 120, 160 м³/ч).

При полевых опытно-фильтрационных работах и режимных наблюдениях используются следующие приборы для замера уровней воды в скважинах:

- хлопушка – наиболее простое приспособление для замера уровня, выпускается с рулеткой различной длины и используется в скважинах до глубины 100 м. Бывают хлопушки со свистком;

- электроуровнемеры типа УЭ – применяются при проведении всех видов работ с гидрогеологическими скважинами и имеют возможность замеров подземных вод до глубины 50-75-200 м. Здесь используется принцип замыкания электрической цепи при соприкосновении датчика электровода с поверхностью воды.

При проведении стационарных гидрогеологических исследований и систематических измерений уровней в скважинах используются самописцы уровня, барабанные уровнемеры, а также регистраторы уровня конструкций различных организаций. Выходная информация об уровнях воды в скважинах выдается в виде непрерывных графиков и цифровых распечаток и т.п.

Глубинные манометры различных модификаций (МГГ, РГГЛ, ДГМ) служат для измерения и регистрации пластовых давлений. Эти приборы опускаются в скважину, производят замеры давлений, а информация фиксируется на диаграммных лентах, приводимых в приборе часовым механизмом. Эти исследования проводят обычно в глубоких скважинах.

Для измерения температуры подземных вод используются как ртутные термометры, так и электрические, применяемые при производстве каротажных работ.

Измерение расхода при откачках и выпусках производится различными методами, однако наиболее точным из них является объемный, при котором расход определяется по времени накопления

мерной емкости. Объем мерной емкости должен быть таким, чтобы время накопления ее было не менее 20-30 секунд.

При значительных дебитах и невозможности замеров объемным способом, применяют водосливы различных марок и конструкций (трапециидальные, прямоугольные, треугольные и пр.). Определение расхода осуществляется по высоте уровня воды, проходящей через водослив. Если скважина при откачке дает осветленную воду, то для замера дебита можно использовать водосчетчики, дебитомеры, расходомеры различных модификаций. Максимальные расходы, фиксируемые этими приборами различны – от 20 м³/ч до 230 и даже 1300 м³/ч. Погрешность измерений до 5%.

При бурении глубоких гидрогеологических скважин возникает необходимость поинтервального испытания скважин, пройденных в устойчивых пластах. Эти работы проводятся с использованием специальных испытателей и опробователей пластов, принцип работы которых заключается в попадании пластовых вод через хвостовик-фильтр в бурильные трубы. При этом верхний интервал скважины изолируется гаммоном, а характер притока воды в бурильные трубы и забойное давление фиксируется приборами. Испытательный снаряд может также быть с двухтампонной компоновкой, что дает возможность испытания интервала с верхней и нижней изоляцией.

Для отбора проб воды из скважины применяются различные водоносы и пробоотборники, обеспечивающие отбор проб воды и газа с глубин до 1000-1500 м. Работают пробоотборники по различным принципам. Пробоотборник Симонова срабатывает от посыльного груза, могут быть вакуумные пробоотборники, имеющие емкость принимающей камеры до 3000 мл.

Вопросы для контроля

1. Какие технические средства применяются при поисках и разведке подземных вод?
2. Какой максимальный динамический уровень возможен при откачке горизонтальным центробежным насосом? Почему?
3. Принцип работы эрлифта, глубина погружения смесителя.
4. Способы замера динамического уровня при откачках эрлифтом.

5. ПОЛЕВЫЕ ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАБОТЫ

При проведении поисково-разведочных работ определение гидрогеологических параметров водоносных пород является одной из главных задач, без решения которой невозможны количественные оценки, расчеты и прогнозы в связи с хозяйственным освоением подземных вод.

Для оценки фильтрационных свойств и водообильности горных пород применяются следующие методы:

- полевые опытно-фильтрационные работы;
- по данным режимных наблюдений за подземными водами;
- лабораторные исследования;
- геофизические методы;
- методы моделирования.

Каждый из этих методов характеризуется различной степенью надежности получаемых результатов и применяются зачастую комплексно, дополняя друг друга. Все эти методы имеют свою определенную специфику проведения, и неоднозначны по своей значимости. Преобладающим в практике гидрогеологических исследований являются полевые опытно-фильтрационные работы.

К полевым опытно-фильтрационным работам относятся откачки из скважин, шурфов, колодцев, горных выработок, наливов и нагнетания в скважины, наливов в шурфы, экспресс-методы (экспресс-откачка, экспресс-налив, опережающее опробование).

Степень достоверности получаемой информации о гидрогеологических параметрах у каждого из этих методов различная и зависит от правильности выбора метода достоверности результатов и других показателей.

Откачки из скважин, шурфов, колодцев, горных выработок являются преимущественными видами опытных работ при гидрогеологических исследованиях для организации водоснабжения, орошения, осушения и др. Откачками опробуются, как правило, наиболее перспективные основные водоносные горизонты и при этом определяются следующие показатели:

- дебит и удельный дебит скважины;
- величина понижения уровня подземных вод в скважинах;
- рассчитывают коэффициент фильтрации;
- оценивают показатели и динамику развития депрессионной воронки;
- степень гидравлической взаимосвязи подземных и поверхностных вод;
- степень взаимосвязи между водоносными горизонтами;
- степень взаимодействия между собой возмущающих скважин и т.п.

Наливы и нагнетания используются при незначительной водоотдачи или водообильности водоносных пород, при определении этих свойств в ненасыщенных водой породах.

Опытные нагнетания проводятся обычно для определения фильтрационных свойств трещиноватых скальных и полускальных пород.

Наливы в скважины проводятся при изучении рыхлых отложений, а наливов в шурфы в рыхлых и связных грунтах зоны аэрации.

Экспресс-методы необходимы для предварительной оценки фильтрационных свойств пород и предполагают использование для этого специального оборудования и оригинальной методики расчетов.

5.1. Откачки, их виды и методика определения параметров водоносных горизонтов

Откачки являются одним из основных видов опытно-фильтрационных работ, проводящихся с целью изучения гидрогеологических условий водоносных горизонтов и комплексов.

Откачка – это способ принудительного отбора подземных вод из скважин, колодцев, шурфов, шахт и т.д., вызывающий деформацию естественного фильтрационного поля, причем, чем интенсивней деформация фильтрационного поля напоров (уровней, скоростей), тем информативней результат. Откачка, проводящаяся при самоизливе воды из скважины, называется выпуском. Это наиболее надежный, но весьма дорогой метод получения информации (35 – 60 % от общих затрат на разведку). Эффективность откачки зависит от правильного ее обоснования, проведения и интерпретации результатов.

Откачки по своему назначению могут быть пробными, опытными и опытно-эксплуатационными. Различие в их проведении сводится главным образом к продолжительности опыта и конструкции опытного куста скважин.

Пробные откачки являются наиболее массовым видом опытных работ, которыми опробуются практически все гидрогеологические скважины. Эти откачки проводятся из поисковых, картировочных, наблюдательных и разведочных скважин для предварительной оценки фильтрационных свойств водовмещающих пород и качества подземных вод, для получения сравнительной характеристики различных участков водоносных горизонтов. Продолжительность пробных откачек 0,5-1,0 сут.

Опытные откачки проводятся главным образом на этапе поисково - оценочных работ и разведки и являются основным видом гидрогеологических работ.

Цели проведения опытных откачек заключаются в определении основных гидрогеологических параметров водоносных горизонтов (коэффициентов фильтрации, водопроницаемости, пьезо- и уровнепроницаемости, водоотдачи, приведенного радиуса влияния, суммарного

сопротивления русловых отложений), изучении граничных условий водоносных горизонтов в плане и разрезе, оценки взаимосвязи подземных и поверхностных вод, взаимодействия смежных водоносных горизонтов, установлении зависимости между дебитом и понижением уровня, определении оптимальной производительности эксплуатационных скважин, определении величин срезов уровня при совместной работе эксплуатационных скважин.

Опытные откачки в зависимости от наличия или отсутствия наблюдательных скважин подразделяются на одиночные и кустовые.

Одиночные опытные откачки проводятся из одиночных разведочных выработок и служат для ориентировочного определения зависимости дебита и удельного дебита скважин от величины понижения уровня, для приблизительной оценки водопроводимости, оценки эксплуатационных запасов гидравлическим методом и выбора эксплуатационного дебита скважин. Откачки проводятся с двумя-тремя ступенями понижения, с продолжительностью каждой ступени до 3-х суток.

Кустовая опытная откачка проводится из куста скважин и предполагает получение полного и надежного материала, исключающего влияние фильтра и призабойной зоны центральной скважины. Кустовая опытная откачка позволяет оценить граничные условия пласта, оценить эксплуатационные запасы подземных вод гидродинамическим методом. Проводится из одной разведочной скважины с наблюдениями по одной или нескольким наблюдательным скважинам. Откачка проводится на одно максимальное понижение с продолжительностью до 20 суток.

Групповая опытная откачка проводится из нескольких возмущающих (разведочных) скважин с привлечением группы наблюдательных выработок и необходима для определения основных гидрогеологических параметров в тех случаях, когда отбор воды из одной скважины не может обеспечить значительных абсолютных значений величин понижения уровня. Проводится на стадиях предварительной и детальной разведки с продолжительностью 10-30 суток.

Опытно-эксплуатационные откачки проводятся из одной или нескольких скважин только на стадии детальной разведки в сложных гидрогеологических и гидрохимических условиях, которые не могут быть отображены в виде расчетной схемы. Цель опытно-эксплуатационных откачек – установление закономерностей изменения уровней подземных вод или их качества при заданном водоотборе. Продолжительность откачки определяется отдельно в каждом конкретном случае (от 1-3 и более месяцев). Откачка проводится с дебитом, близким к проектному водоотбору.

В зависимости от стадии исследований, гидрогеологических условий и применяемого метода оценки эксплуатационных запасов подземных вод

по данным откачек могут решаться одна или сразу несколько из перечисленных задач.

При проведении откачки развитие депрессионной воронки зависит от ряда факторов:

- осушение пласта (для безнапорных вод);
- изменение упругого режима (для напорных вод);
- перетекание из нижележащих и вышележащих водоносных горизонтов;
- привлечение подземных вод, разгружающихся в естественных условиях (родниковый сток);
- границы пласта в плане и разрезе;
- естественные колебания уровня подземных вод;
- технические факторы (колебание дебита и пр.).

Таким образом, режим подземных вод при откачках определяется тремя группами факторов:

- гидрогеологическими условиями (строением водовмещающей толщи и условиями на границах пласта в плане и разрезе);
- естественным режимом подземных вод (внешними влияниями);
- техническими условиями проведения опыта.

Основной группой факторов здесь является первая. Рассмотрим закономерности режима для типовых гидрогеологических условий, характеризующихся различными условиями на границах водоносного горизонта в плане и разрезе и строением водовмещающей толщи.

По особенностям режима подземных вод, которые следует учитывать при анализе данных опытно-фильтрационных исследований и определении основных гидрогеологических параметров, целесообразно следующим образом типизировать гидрогеологические условия:

1) неограниченные водоносные горизонты, условно однородные по проницаемости и изолированные по кровле и подошве:

- напорные водоносные горизонты в рыхлых отложениях;
- безнапорные водоносные горизонты в рыхлых отложениях;
- напорные и безнапорные водоносные горизонты в трещиноватых породах;

2) водоносные горизонты в слоистых толщах:

- двухслойное строение водоносной толщи;
- многослойное строение водоносной толщи;

3) ограниченные водоносные горизонты:

- водоносные горизонты, связанные с поверхностными водотоками и водоемами;

- водоносные горизонты, ограниченные непроницаемыми контурами;
- водоносные горизонты, состоящие из отдельных зон с различной водопроницаемостью и (или) водоотдачей;

- участки водоносных горизонтов с локальными очагами питания и разгрузки.

Режим подземных вод при опытных откачках в неограниченных напорных горизонтах в рыхлых отложениях формируется в результате проявлений упругого режима. Зависимость между понижениями уровня и временем описывается уравнением Тейса, имеющим следующий вид:

$$S = -\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot K \cdot m} \cdot E_i\left(-\frac{r^2}{4 \cdot a \cdot t}\right), \quad (5.1)$$

где S – понижение напора на расстоянии r от скважины, из которой проводится откачка, через время t после начала откачки;

Q – дебит откачки;

Km – водопроводимость водоносного горизонта;

a – коэффициент пьезопроводности;

E_i – интегральная показательная функция.

С возрастанием времени аргумент функции E_i уменьшается и при $\frac{r^2}{4 \cdot a \cdot t} \leq 0,1$ можно заменить ее с погрешностью менее 7,8 % и записать уравнение (5.1) в логарифмической формуле

$$S = \frac{0,183 \cdot Q}{K \cdot m} \lg\left(\frac{2,25 \cdot a \cdot t}{r^2}\right). \quad (5.2)$$

Начиная с того момента, когда интегральную показательную функцию можно заменить логарифмом на опытном участке наступает квазистационарный режим фильтрации, а зона в которой справедлива зависимость между понижением и временем называется зоной (областью) квазистационарного режима. Отличительной особенностью зоны является одинаковый темп снижения уровня во всех точках, расположенных в ее пределах, т.е. кривая депрессии перемещается во времени как бы параллельно самой себе. Время наступления квазистационарного режима определяется по формуле:

$$t_0 \geq \frac{2,5 \cdot r^2}{a}. \quad (5.3)$$

Радиус зоны квазистационарного режима определяют по следующей зависимости:

$$r_K = 1,58 \sqrt{a \cdot t_0}. \quad (5.4)$$

Таким образом, в напорном изолированном пласте понижение уровня через определенное время после начала откачки связано с логарифмом времени прямолинейной зависимостью. Это послужило

основой графоаналитического метода определения расчетных параметров путем анализа графиков $S = f(\lg t)$.

Действительно, зная, что при применении логарифмов умножение заменяется сложением, т.е. $\lg(ab) = \lg a + \lg b$ и рассмотрев в этом аспекте уравнение (5.2) получим:

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,183Q}{K_m} \lg\left(\frac{2,25at}{r^2}\right) = \frac{0,183Q}{K_m} \lg\left(\frac{2,25a}{r^2} \cdot t\right) = \frac{0,183Q}{K_m} \left(\lg\left(\frac{2,25a}{r^2}\right) + \lg t\right) = \\ &= \frac{0,183Q}{K_m} \lg\left(\frac{2,25a}{r^2}\right) + \frac{0,183Q}{K_m} \lg t. \end{aligned} \quad (5.5)$$

Рассмотрев слагаемые этого уравнения, убедимся, что переменной величиной здесь является лишь время t . Таким образом обозначим постоянные:

$$\frac{0,183Q}{K_m} \lg\left(\frac{2,25a}{r^2}\right) = A, \quad (5.6)$$

$$\frac{0,183Q}{K_m} = C. \quad (5.7)$$

Тогда уравнение (4.2) примет вид

$$S = A + C \lg t. \quad (5.8)$$

Это уравнение можно представить на графике $S = f(\lg t)$ в виде прямой линии, отсекающей от оси ординат отрезок A и наклоненной к оси абсцисс с угловым коэффициентом $C = \tan \alpha$ (рис. 5.1).

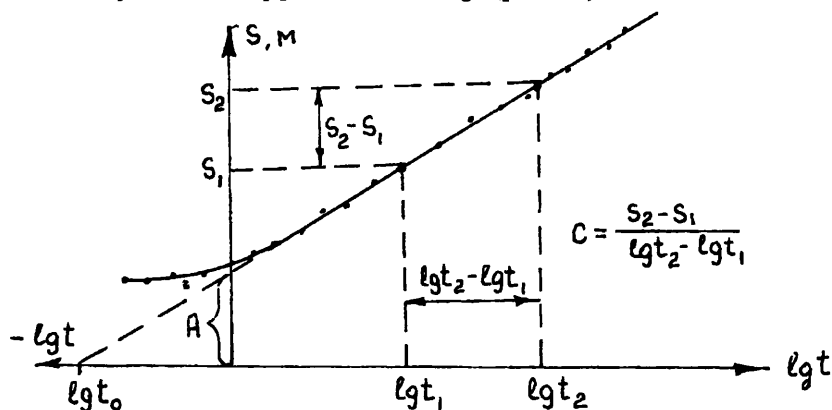


Рис. 5.1. График изменения уровня в процессе откачки из бесконечного напорного пласта в координатах $S = f(\lg t)$ (график временного прослеживания)

Таким образом, из уравнения (5.6), определяя уклон графика, можно определить водопроницаемость (5.9). Зная отрезок А, отсекаемый на оси ординат, и уклон С, можно найти коэффициент пьезопроводности (5.10).

$$K_m = \frac{0,183Q}{C} \quad (5.9)$$

$$\lg a = 2 \lg r - 0,35 + \frac{A}{C} \quad (5.10)$$

Еще раз вернемся к уравнению (5.2), с которым были проделаны преобразования и было получено уравнение (5.5):

$$S = \frac{0,183Q}{K_m} \left(\lg \left(\frac{2,25a}{r^2} \right) + \lg t \right).$$

Предлагаем иные преобразования и получим следующие разновидности уравнения (5.2):

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,183Q}{K_m} (\lg 2,25at - 2 \lg r) = \frac{2 \cdot 0,183Q}{K_m} \left(\frac{1}{2} \lg 2,25at - \lg r \right) = \\ &= \frac{0,183Q}{K_m} \lg 2,25at - \frac{0,366}{K_m} \lg r. \end{aligned}$$

Обозначим постоянные

$$\frac{0,183Q}{K_m} \lg 2,25at = A; \quad \frac{0,366Q}{K_m},$$

тогда уравнение (5.11) примет вид

$$S = A - C \lg r. \quad (5.12)$$

Это уравнение представляется на графике $S = f(\lg r)$ прямой линией (рис.5.2).

Значение параметров водоносных горизонтов определяется здесь следующим образом:

$$K_m = \frac{0,366Q}{C}. \quad (5.13)$$

$$\lg a = 2 \frac{A}{C} - 0,35 - \lg t. \quad (5.14)$$

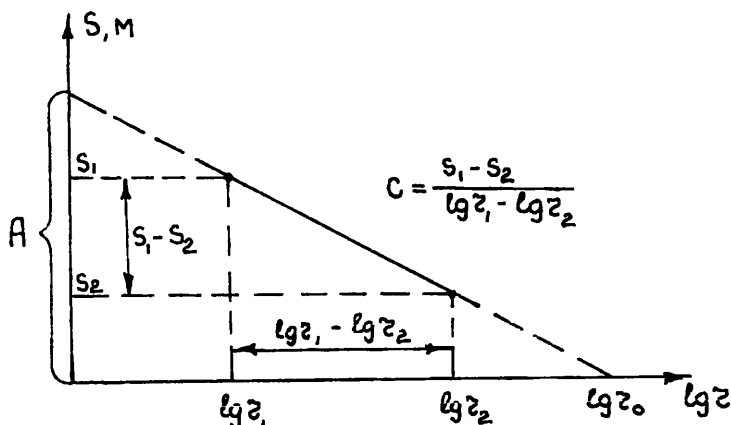


Рис. 5.2. График изменения уровня в процессе откачки из бесконечного напорного пласта в координатах $S = f(\lg r)$ (график площадного прослеживания)

Осуществив преобразование уравнения (5.2.) в следующем виде, получим:

$$S = \frac{0,183Q}{Km} (\lg 2,25a - \lg \frac{r^2}{t}) = \frac{0,183Q}{Km} \lg 2,25a - \frac{0,183Q}{Km} \lg \frac{r^2}{t} \quad (5.15)$$

Отсюда

$$S = A - C \lg \frac{r^2}{t} \quad (5.16)$$

Это уравнение представляется на графике $S = f(\lg(r^2/t))$ прямой линией, (рис.5.3)

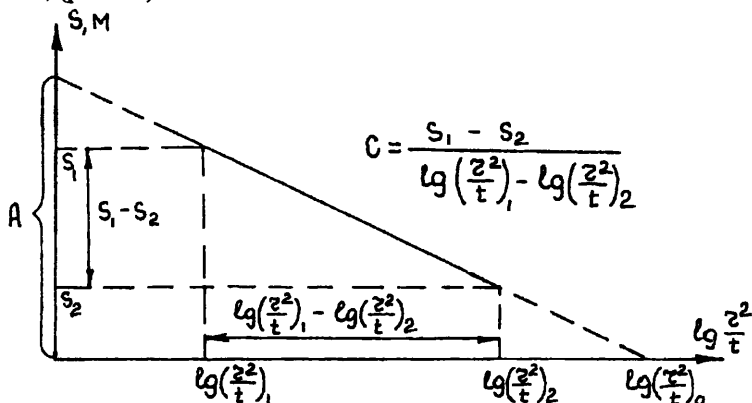


Рис.5.3. График изменения уровня в процессе откачки из бесконечного напорного пласта в координатах $S = f(\lg(r^2/t))$ (график комбинированного прослеживания)

Значения параметров водоносного горизонта рассчитываются здесь по формулам:

$$K_m = \frac{0,183Q}{C}, \quad (5.17)$$

$$\lg a = \frac{A}{C} - 0,35. \quad (5.18)$$

В соответствии с тремя приведенными выше формулами исходных уравнений используются и три формы обработки данных опытных откачек. Использование уравнений (5.5), (5.8) и построение графика временного прослеживания ($S = f(lgt)$) возможно как при одиночных, так и при кустовых откачках. Для каждой фиксированной точки (скважины) может быть построен график, позволяющий проводить определение расчетных параметров.

Использование уравнений (5.11), (5.12), а также (5.15), (5.16), отображаемыми графиками площадного и комбинированного прослеживания, возможно лишь при наличии достаточного количества наблюдательных скважин. Основной информацией для построения графиков являются единовременные замеры понижений в нескольких наблюдательных скважинах. При откачках из грунтовых водоносных горизонтов подход к определению параметров тот-же, однако ось абсцисс заменяется на $(2H-S)S$ и строятся соответствующие графики с координатами $(2H-S)S = f(lgt)$, $(2H-S)S = f(lgr)$, $(2H-S)S = f(\lg(r^2/t))$.

Обработку материалов опытной откачки с постоянным дебитом начинают в полевых условиях с построения графиков изменения уровня подземных вод в опытной и наблюдательной скважинах в координатах $S = f(lgt)$ (рис.5.4).

На графике для наблюдательной скважины несколько участков:

- участок I соответствует начальному моменту откачки, квазистационарный режим не установился, точки наблюдения не лежат на прямой;
- участок II соответствует квазистационарному режиму фильтрации и зависит только от свойств пород водоносного горизонта (границные условия еще не влияют);
- участок III возникает при деформации в связи с рядом факторов, обусловленных влиянием границ. Характер участка III несет информацию о граничных условиях водоносного горизонта в плане и разрезе.

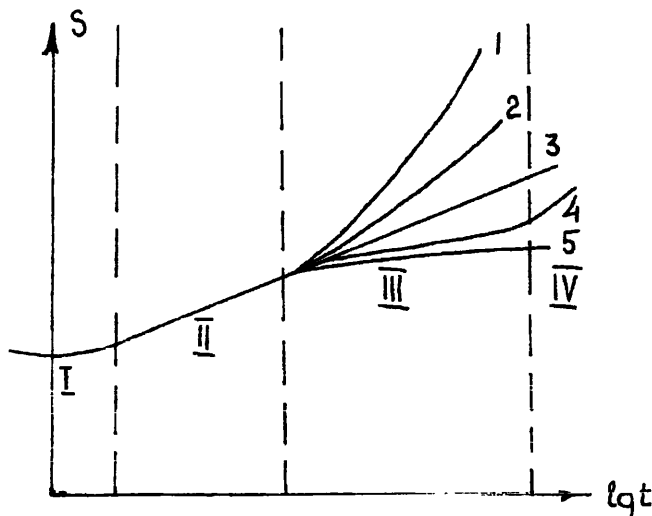


Рис.5.4. График изменения уровня в процессе откачки для различных схем (график временного прослеживания): 1 — пласт-полоса с непроницаемыми границами; 2 — полуограниченный пласт с непроницаемой границей; 3 — неограниченный пласт; 4 — двухслойный пласт с двойной пористостью; 5 — полуограниченный пласт с контуром постоянного напора или перетоком из пласта с постоянным напором

Рассмотрим несколько вариантов графиков и сделаем их анализ.

1. Если график III прямолинеен и уклон его равен уклону на участке II, то пласт можно считать однородным и бесконечным (в пределах зоны влияния откачки) (рис.5.4, линия 3).

2. Если график III прямолинеен, но уклон его отличается от уклона II (рис. 5.4, линия 2), то в пределах зоны влияния откачки имеется граница неоднородности (в данном случае непроницаемая граница).

3. Если уклон графика III круче (рис. 5.4, линия 1), чем, например, линия 2, то может быть пласт-полоса с непроницаемыми границами.

4. Кривая 4 (рис. 5.4) указывает, что имеются две или более влияющих границ.

5. Кривая 5 (рис. 5.4) указывает на влияние границы с постоянным напором или перетоком из пласта.

5.2. Определение параметров водоносного горизонта по результатам прослеживания за восстановлением уровня после откачки

По завершении откачки осуществляется наблюдение за динамикой восстановления динамического уровня, по результатам которых определяются параметры водоносного горизонта.

Прекращение откачки или выпуска является возмущением, которое может быть рассмотрено как самостоятельный опыт. Наблюдение можно вести как по центральной, так и по наблюдательной скважинам. При этом результаты определения параметров получаются более качественными, чем при откачках, так как исключаются сложности, связанные с техническими причинами.

Методика обработки результатов принимается та же, что и при откачке по методу временного прослеживания. Здесь лишь вместо понижения уровня берется его повышение от конечного динамического уровня при откачке. Время при построении графика берется от конца откачки, а за дебит принимается дебит скважины при откачке.

При не очень продолжительных откачках проведенных с постоянным дебитом, обработка результата осуществляется с учетом продолжительности откачки. Уравнение, описывающее восстановление уровня выглядит следующим образом:

$$S = \frac{0,183Q}{Km} \lg\left(\frac{T+t}{t}\right). \quad (5.19)$$

Водопроницаемость здесь определяется по формуле

$$Km = \frac{0,183Q}{C}. \quad (5.20)$$

Коэффициент пьезопроводности после несложных преобразований определяется по формуле

$$\lg a = 2 \lg r - 0,35 + \frac{S_{\max}}{C} - \lg T, \quad (5.21)$$

где C – угловой коэффициент;

$S_{\max}$ – максимальное понижение или максимальное восстановление уровня.

T – продолжительность откачки или выпуска;

t – продолжительность восстановления.

Для построения графика берется интервал времени от t_1 до t_2 , где $t_1 \leq 1,1t_0$, а $t_2 \leq 1,1t_1$. Таким образом, за начальную точку при построении графиков восстановления уровней принимается момент времени $t_1 \leq 1,1t_0$ (где t_0 – длительность откачки), а за конечную – момент времени, отвечающий условию $t_2 \leq 1,1t_1$.

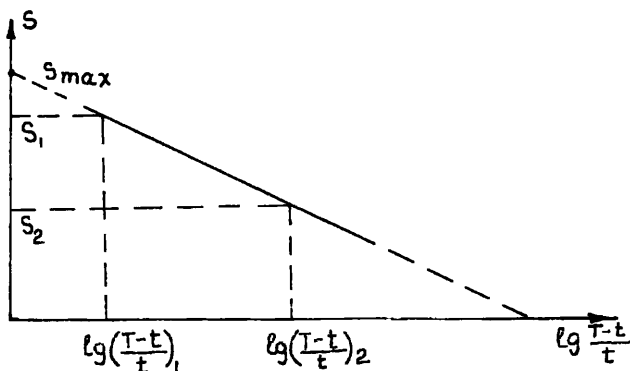


Рис. 5.5. График изменения уровня при восстановлении в наблюдательной скважине в координатах $S = f(\lg((T-t)/t))$

5.3. Проведение и обработка данных откачек для изучения граничных условий

Для учета влияния границ фильтрационного потока в плане и взаимодействия скважин используется принцип сложения течений или суперпозиции. Согласно этому принципу понижение уровня в любой точке пласта равно алгебраической сумме понижений во всех взаимодействующих скважинах.

Если есть в плане одна прямолинейная граница, то предполагается, что по другую ее сторону на таком же расстоянии от нее находится воображаемая скважина.

Если граница непроницаемая, то считается, что воображаемая скважина эксплуатируется с таким же дебитом, что и реальная (рис. 5.6) и влияет на снижение уровня в наблюдательной скважине 1.

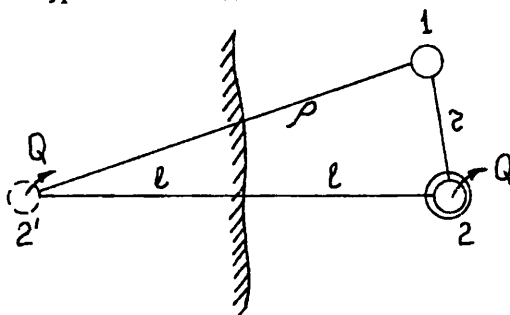


Рис. 5.6. Схема к учету непроницаемой границы пласта: 1 — наблюдательная скважина; 2 — центральная (возбуждающая) скважина; 2' — воображаемая (минус возбуждающая) скважина

Таким образом, понижение уровня в скважине 1 зависит от откачки из скважины 2 и мнимой откачки из скважины 2':

$$S = \frac{0,183Q}{Km} \lg \frac{2,25at}{r^2} + \frac{0,183Q}{Km} \lg \frac{2,25at}{\rho^2} = \frac{0,366Q}{Km} \lg \frac{2,25at}{r\rho}. \quad (5.22)$$

В том случае, если границей является река или озеро (граница с постоянным напором), то воображаемая зеркально отраженная скважина работает как нагнетательная с производительностью, равной дебиту возмущающей скважины (рис. 5.7).

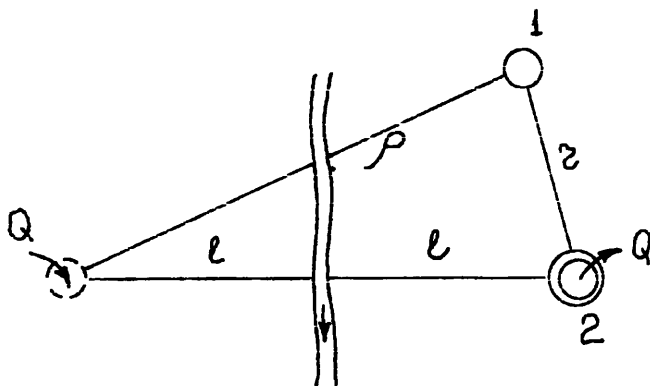


Рис. 5.7. Схема к учету границы пласта с постоянным напором: 1 – наблюдательная скважина; 2 – центральная (возмущающая) скважина; 2' – воображаемая (мнимая нагнетательная) скважина

Понижение уровня в скважине 1 зависит от откачки из скважины 2 (снижается) и от нагнетания (мнимого) в скважину 2' повышающего уровень. И если в первом разобранным нами случае (при непроницаемой границе пласта) понижение складывалось из суммы понижений от влияния реальной и мнимой скважин рассматривается как разность влияний от откачивающей и нагнетающей скважин.

$$S = \frac{0,183Q}{Km} \lg \frac{2,25at}{r^2} - \frac{0,183Q}{Km} \lg \frac{2,25at}{\rho^2} = \frac{0,366Q}{Km} \lg \frac{\rho}{r}. \quad (5.23)$$

Этот метод называется *методом зеркальных отображений*.

Зачастую, опытные кустовые откачки проводятся для определения расстояния до непроницаемых границ или степени связи поверхностных и подземных вод.

Вопрос связи поверхностных и подземных вод часто стоит очень остро, так как от него зависит решение о выборе схемы водозабора вблизи водоемов (инфильтрационный водозабор). Для оценки такой связи проводится откачка вблизи водоема или реки, при этом определяются как параметры водоносных горизонтов, так и выявляются связи подземных и поверхностных вод.

В случае крупных водоемов (широкие реки и озера) степень связи между поверхностными и подземными водами характеризуют величиной Δl – эквивалентным удлинением при фильтрации за счет гидравлического сопротивления русловых отложений и искривления пути фильтрации. Величина Δl зависит от соотношения коэффициента фильтрации русловых отложений и пород основного пласта: чем меньше это соотношение, тем больше величина Δl .

Определять величину Δl можно несколькими способами:

- по данным наблюдений за уровнем воды в рекс и в водоносном горизонте в период межени и паводка;
- по соотношению уровней в луче скважин, направленном к реке и др.

При простых гидрогеологических условиях сооружаются кусты скважин вблизи реки. Обычно закладываются двухлучевые кусты с лучами, направленными вдоль и поперек реки. В каждом луче должно быть не менее двух наблюдательных скважин (рис. 5.8).

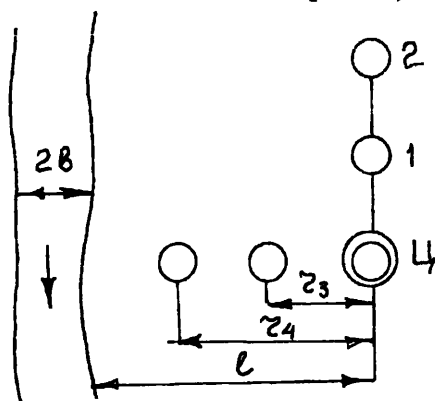


Рис. 5.8. Схема куста скважин у реки

По скважинам 1 и 2 определяются параметры водоносного горизонта (коэффициент фильтрации, пьезопроводность и пр.).

По скважине 3 можно определить Δl из выражения

$$S_3 = \frac{Q}{2\pi K m} \ln \frac{2(l - \Delta l) - r_3}{r_3} . \quad (5.24)$$

В выражении (5.24.) неизвестным является лишь величина Δl , которая определяется или методом подбора, или рассчитывается по формуле

$$\Delta l = \frac{1}{2} \left[r_2 e^{\frac{2\pi K m S_3}{Q}} - (2l - r_3) \right]. \quad (5.25)$$

При этом должно соблюдаться условие $l - r_3 \geq r_3$. Аналогично определяется Δl для скважины 4. Определив Δl , необходимо сделать выводы о связи подземных и поверхностных вод:

- при больших величинах Δl связь несовершенная;
- при малых величинах Δl связь совершенная.

5.4. Организация и проведение откачек

Методы проведения откачек зависят от стадии гидрогеологических исследований, на которой они проводятся, назначения и природных условий объекта.

Под понятием методика проведения откачек понимается:

- выбор вида откачки;
- выбор схемы опытного куста и его положение на местности;
- характер и степень возмущения пласта (на какое понижение, количество ступеней понижения и т.п.);
- продолжительность откачки;
- последовательность осуществления операций при откачке;
- обоснование конструктивных особенностей скважин в кусте;
- обоснование способов контроля за дебитом, понижением, температурой и качеством подземных вод;
- обоснование способа отведения воды от опытной скважины.

Напомним, что пробные откачки выполняются на всех стадиях исследований для получения сравнительной характеристики фильтрационных свойств пласта и предварительного определения возможности производительности скважин.

Опытные одиночные откачки проводятся для оценки фильтрационных свойств пласта и определения зависимости между дебитом и понижением.

Опытные кустовые откачки необходимы для оценки фильтрационных свойств пласта, гидрогеологических параметров и оценки граничных условий.

Опытно-эксплуатационная откачка проводится в сложных гидрогеологических условиях для определения опытным путем возможностей производительности водозабора и изменения качества подземных вод при эксплуатации.

При проведении всех видов откачек рекомендуется следующее:

1) откачки надо проводить с максимальным для данного насосного оборудования постоянным дебитом;

2) снижение уровня в пределах опробуемого пласта должно быть не менее 3-5 м в опытных скважинах и не менее 0,3-0,5 м в наблюдательных;

3) для получения искомых параметров, основанных на закономерностях квазистационарной фильтрации, откачка должна быть продолжительностью не менее 2-3 суток;

4) по степени и характеру вскрытия опытные скважины должны быть по возможности совершенными;

5) ближайшие наблюдательные скважины должны быть на расстоянии, превышающем мощность опробуемого пласта;

6) для более точного определения параметров призабойной зоны желательно наличие заглубного пьезометра;

7) необходимо наличие режимных скважин вне зоны влияния откачки.

Откачки на несколько ступеней понижения осуществляются, начиная с меньшего понижения уровня (кроме трещиноватых пород и мелкозернистых песков).

Понижение должно быть не менее 1-2 м и в 2-3 раза меньше максимально возможного.

Частота замеров уровня определяется в зависимости от темпов его снижения и должна обеспечить представительный материал для дальнейших расчетов.

Обычно частота замеров *в процессе откачки* выглядит следующим образом:

- в первые два часа – через 5-10 мин;
- в последующие 12 часов – через 0,5-1,0 ч;
- далее до конца откачки – через 2-3 ч;

в процессе восстановления уровня:

- первые 15-20 минут – через 1-2 мин;
- в течение 1-2 часов – через 2-10 мин;
- затем через 1 час на весь период наблюдений.

Продолжительность откачки должна обеспечивать стабилизацию уровней во всех наблюдательных скважинах для условий стационарного режима фильтрационного потока или получения представительных для интерпретации участков графиков прослеживания уровня при неустановившемся режиме фильтрации.

Для напорных песчано-гравийно-галечных водоносных горизонтов рекомендуется длительность откачки от 5 до 10 суток, иногда – до 15 суток.

В безнапорных зернистых и трещиноватых водоносных горизонтах продолжительность кустовой откачки принимается 10-15 суток.

Откачки для определения взаимосвязи между подземными и поверхностными водами проводятся обычно не более 15 суток, за это время, зачастую, наступает стабилизация уровня.

Как известно, кустовые откачки проводятся:

- для определения гидрогеологических параметров;
- для изучения и оценки граничных условий.

Кусты для определения гидрогеологических параметров водоносного горизонта должны размещаться равномерно по изучаемой площади и подальше от возможных границ пласта. Чисто наблюдательных скважин, их размещение и дебит опытной скважины должны предопределять их нахождение в зоне квазистационарного режима фильтрационного потока.

Лучи наблюдательных скважин должны быть ориентированы в направлении возможных изменений гидрогеологических условий:

- изменения трещиноватости;
- изменения фильтрационных свойств;
- изменения емкостных свойств;
- выявления границ пласта с постоянным напором или постоянным расходом.

Число наблюдательных скважин может быть от двух до десяти, что зависит от гидрогеологических условий и целей опыта.

При простых гидрогеологических условиях, к которым относятся однородные напорные водоносные горизонты в зернистых или равномерно трещиноватых породах, рекомендуется использование двух – трех наблюдательных скважин, расположенных на одном луче.

В сложных гидрогеологических условиях (неоднородные безнапорные водоносные горизонты в зернистых породах, напорные и безнапорные водоносные горизонты в трещиноватых и закарстованных породах и т.п.), рекомендуется организация двухлучевого куста с количеством скважин от трех до десяти. В каждом случае число наблюдательных скважин выбирается индивидуально в зависимости от сложности гидрогеологических условий.

При откачках, проводимых для изучения и оценки граничных условий потока, задается по два луча: один параллельно границе, а другой перпендикулярно к ней. Число наблюдательных скважин может колебаться от четырех до шести.

При исследовании глубоких водоносных горизонтов необходимо ограничиваться минимальным количеством наблюдательных скважин (учитывая высокую стоимость бурения).

В каждом случае необходимо по возможности включение в наблюдательную сеть всех имеющихся скважин (поисковых, картировочных, разведочных), а при проектировании работ учитывать возможность такого использования парка скважин.

Расстояние от опытной скважины до ближайшей наблюдательной должно быть примерно равно мощности водоносного пласта. При мощности пласта более 100 м – 0,7m. Остальные наблюдательные скважины в кусте должны располагаться так, чтобы на графике площадного прослеживания точки замеров уровней располагались равномерно. Этому условию отвечает зависимость:

$$r_{n+1} = \alpha \cdot r_n, \quad (5.26)$$

где r_{n+1} и r_n – расстояние до наблюдательной скважины;

α – коэффициент для безнапорных вод, равный 1,5; для напорных - 2,5.

Расстояние самых удаленных наблюдательных скважин от опытной не должно быть более 150 м для безнапорных вод и 1500 м – для напорных.

В литературных источниках, на основании богатого опыта опытных работ приводятся рекомендации по размещению наблюдательных скважин при проведении кустовой откачки (таблица 5.1).

Дебит опытной скважины должен обеспечивать при понижении уровня в центральной скважине на 3-4 м понижения на конец опытной откачки в самой удаленной наблюдательной скважине не менее 20 см. Выбор дебита скважин зависит от предполагаемой водопроводимости пласта (Km). Практика показывает, что при водопроводимости горизонта 50-500 м²/сут дебит опытной скважины должен быть 5-25 дм³/с, при водопроводимости 500-1000 м²/сут. – 25-50 дм³/с, при водопроводимости 1000-3000 м²/сут. – 50-150 дм³/с.

Таблица 5.1

Рекомендации по размещению первой и второй наблюдательных скважин в кустах (при продолжительности откачек 3-5 суток для напорных и 5-10 суток для безнапорных)

Водоносные горизонты	Гидравлический характер горизонта	Максимальное расстояние, м	
		до первой наблюдательной скважины	до второй наблюдательной скважины
Пески мелко- и средне-зернистые	напорные воды	80	150
	грунтовые воды	10	15
Пески крупнозернистые	напорные воды	200	450
	грунтовые воды	15	30
Гравийно-галечниковые отложения	напорные воды	200	450
	грунтовые воды	25	40
Трещиноватые породы	напорные воды	80	150
	грунтовые воды	30	50

В состав документации опытно-фильтрационных работ входит:

- разработка расписания для регистрации уровней и дебитов (схема маршрутного обхода скважин, частота замеров);
- регистрация уровней и дебитов в полевом журнале;
- построение индикаторных графиков: $S = f(t)$, $Q = f(t)$,

а также $S = f(\lg t)$, $S = f(\lg r)$, $S = f(\lg \frac{r^2}{t})$.

Под натурным исполнением проекта опытно-фильтрационных работ понимается:

- перенесение на натуру всех запроектированных скважин;
- бурение опытной и наблюдательных скважин;
- оборудование устья скважин для наблюдений за уровнями и расходом воды;
- строительство водовода для сброса воды.

Обработка результатов откачек сводится к составлению сводного листа откачек и расчету параметров исследуемого водоносного горизонта. При этом необходимо учитывать возможные колебания естественного уровня подземных вод, что устанавливается по наблюдательным скважинам, расположенным вне зоны влияния откачек.

На листе откачек проводятся следующие материалы:

- схема расположения скважин опытного куста в масштабе 1:500 – 1:2000, ситуация местности, направление подземного потока, схема отбора воды;
- геолого-технический разрез по скважинам опытного куста по каждому лучу (в масштабе 1:500 – 1:2000 и по возможности без искажения масштаба). На разрезе показываются отметки поверхности земли, статистического и динамического уровней подземных вод, кривых депрессии, интервал установки фильтра;
- сведения о технической характеристики фильтра, откаченного средства, оборудования для наблюдений за уровнями и дебитами;
- графики колебания уровня и дебита в процессе откачки (совмещенные). Наносятся все замеры уровней, включая наблюдения за естественным уровнем воды и за восстановлением уровня после откачки;
- графики временного, площадного и комбинированного прослеживания с указанием основных расчетных параметров (A , C) для определения фильтрационных свойств водоносных горизонтов и оценке влияния граничных условий на режим откачки;
- таблица основных данных откачки, где приводимые сведения о дате, времени и продолжительности откачки, величины понижения, дебита, результатах расчета коэффициента фильтрации и других параметров;

- таблица результатов определения химического состава и минерализации подземных вод с указанием типа воды и формулой Курлова.

5.5. Методика нагнетания и наливов в скважины и шурфы

Для оценки фильтрационных свойств в породах, имеющих слабую водоотдачу при невозможности проведения откачки (глубокое залегание, невозможность создать необходимое понижение и пр.), а также для оценки необводненных или слабообводненных пород применяется метод наливов или нагнетания.

Нагнетание и налив в скважины.

Под нагнетанием понимается опыт, когда осуществляется принудительная фильтрация воды под напором, превышающий уровень верхней границы опробуемого интервала.

Наливом называется опыт, при котором уровень воды находится в пределах толщи опробуемых горных пород.

Метод нагнетания и наливов в скважины весьма прост, информативен и очень часто используется при изысканиях для гидротехнического строительства. При гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях нагнетание и налив применяются для следующих целей:

- определения водопроницаемости;
- определения удельного водопоглощения трещиноватых пород;
- определения необходимости цементации скального основания;
- проверки качества цементации.

В неводоносных скальных и полускальных породах обычно проводятся опытные нагнетания. Это обусловлено тем, что в скважинах, пробуренных в таких породах, просто и надежно изолируются интервалы на весь срок проведения опыта.

В рыхлосвязанных породах и породах зоны выветривания организуются опытные налив, так как в этих условиях трудно организовать изоляцию скважины и создать избыточный напор (при высоком удельном водопоглощении).

Опыты могут проводиться при установившемся и неуставившемся режиме, то есть может быть осуществлен с постоянным напором до стабилизации расхода, а может и только при постоянном расходе (напоре).

Если налив и нагнетание осуществляются в водоносные породы, то расчет параметров определяется по тем же формулам, что и при откачках. При этом в формулах вместо понижения уровня учитывается соответствующее повышение уровня в центральной и наблюдательных скважинах.

При опытных нагнетаниях в скальные и полускальные породы оценивается не только их водопроницаемость, но и их трещиноватость по величине удельного водопоглощения.

Под удельным водопоглащением понимается количество воды в литрах, поглощенной породой в минуту на 1 метр длины опробуемого интервала скважины при напоре, равном 1 метру.

Опытные нагнетания осуществляют поинтервально (через 5 м) при нескольких ступенях напора.

По результатам опыта строятся графики зависимости расхода и напора от времени, вычисляют величины приведенных расходов, строят графики приведенных расходов $q_0 = f(H)$.

Наливы и нагнетание в обводненные породы – единственный метод определения водопроницаемости интервалов пород. Однако этот метод дает весьма приближенные результаты, так как “сухие” скважины обычно закольматированы продуктами разрушения при бурении и их очень сложно прочистить. Опытные нагнетания могут проводиться при установленном и неуставившемся режиме фильтрации. Для осуществления опыта по нагнетанию в скважинах обычно создаются напоры, в 10-12 раз превышающие длину испытываемого интервала.

При нагнетании воды в сухие породы через скважину происходит изменение уровней образующегося потока.

Имея данные по центральной скважине по двум замерам уровня h_1 и h_2 над кровлей горизонта на момент времени t_1 и t_2 после начала опыта, при постоянном дебите Q , можем определить коэффициент фильтрации пород:

$$K = \frac{0,183 \cdot Q}{m(h_2 - h_1)} \lg\left(\frac{t_2}{t_1}\right). \quad (5.27)$$

Активная пористость μ определяется по формуле

$$\lg \mu = \lg\left(\frac{Q \cdot t_1}{\pi \cdot m \cdot r_c^2}\right) - \alpha \lg\left(\frac{t_2}{t_1}\right), \quad (5.28)$$

$$\alpha = \frac{h_1 - 0,5 \cdot m}{h_2 - h_1}. \quad (5.29)$$

По наблюдательной скважине

$$K = \frac{0,366}{(h_n + 0,5 \cdot m)m} \lg\left(\frac{r}{r_c}\right), \quad (5.30)$$

$$\mu = \frac{Q \cdot t_n}{\pi \cdot m(r^2 - r_c^2)}, \quad (5.31)$$

где t_n – время появления воды в наблюдательной скважине от начала опыта;

h_n – столб воды в центральной скважине в момент появления воды в наблюдательной;

r_c — радиус скважины;

r — расстояние между скважинами.

Опытные нагнетания воздуха используются для определения фильтрационных свойств необводненных пород. Достоинства в том, что при проведении опыта не существует кальматации скважины, отсутствие воды, нет влияния капиллярных и гравитационных сил. Существуют трудности технического характера (высокая чувствительность измерительной аппаратуры и пр.).

Опыт заключается в подаче в скважину определенного количества воздуха через бурильные трубы в интервал пород и наблюдение за его продвижением в наблюдательных скважинах. Для проведения опыта существует специальное оборудование.

Опытные наливы в шурфы.

Опыт является одним из распространенных и хорошо разработанных методом оценки фильтрационных свойств зоны аэрации. Опробование обычно осуществляется до глубины 5 м. Во время опыта ведется наблюдение за ходом инфильтрации воды из шурфа в условиях постоянного уровня воды в процессе опыта. Эти опыты проводятся при съемочных работах при мелиоративных исследованиях, оценке фильтрационных свойств пород в области питания водоносных горизонтов, при геоэкологических исследованиях для оценки возможной миграции загрязняющих компонентов и др.

Поступающая из шурфа в породу вода, благодаря действию капиллярных сил, движется не только вниз, но и в стороны, образуя увлажненную зону. Эта зона со временем увеличивается, а динамика ее развития и размеры зависят главным образом от структуры породы и ее проницаемости. Наибольшее растекание у тонкопористых грунтов (суглинки, глины), наименьшее — у хорошо проницаемых крупнозернистых пород (крупнозернистые пески, галечник, щебень). Очевидно, что такое растекание искажает результаты опыта, а полученные значения коэффициента фильтрации могут быть далекими от реальных. Для устранения влияния растекания на результаты опыта используют специальную схему опытной установки или учитывают в расчетных формулах.

При проведении опыта в лёссах, суглинках, глинах изменяется, вследствие залегания, структурная прочность этих пород, и, следовательно, инфильтрующиеся воды будут изменяться незакономерно, и продолжительность периода до его стабилизации будет больше.

Скорость инфильтрации также в большей степени зависит от состояния поверхности породы, в которую проникает вода. Залегание поверхности резко уменьшает скорость инфильтрации и искажает результаты.

При наливах в шурфы необходимо следить за тем, чтобы не была нарушена структура поверхностного слоя породы в дне шурфа как при подготовке к опыту, так и в процессе его проведения. Для этого, в частности, рекомендуется дно шурфа засыпать небольшим слоем (2-3 см) хорошо промыто щебня или гравия, что препятствует размыванию фильтрующей поверхности.

Документация опытного налива в шурф включают следующие разделы:

- технические данные;
- схема проведения опыта;
- наблюдение за наливом;
- графики изменения расхода и общего объема воды во времени;
- таблица результатов налива в шурф;
- вычисление коэффициента фильтрации.

По окончании налива сведения заносятся в сводный лист налива в шурф, в котором помещают схему участка, геологический разрез участка, графики изменения влажности грунта с глубиной, таблицу технических данных, графики изменения расхода и общего объема воды во времени, расчетные таблицы.

Существует несколько методов производства наливов в шурфы, из которых рассмотрим наиболее распространенные методы Болдырева и Нестерова.

Способ Болдырева А.К. применим в сильно водопроницаемых породах (крупнозернистых песках, гравийно-галечниках, породах зоны выветривания), так как основан на предположении, что, во-первых, горизонтальное сечение инфильтрирующего потока не изменяется с глубиной (нет растекания) и, во-вторых, напорный градиент потока, инфильтрирующегося из шурфа, близок к единице, что позволяет численно приравнять скорость инфильтрации к коэффициенту фильтрации.

При проведении опыта по методу Болдырева (рис. 5.9) выдерживается следующая последовательность операций:

- в дне шурфа (1,0 × 1,5 м) устраивают опытный зумпф диаметром 0,3 - 0,5 м и глубиной около 0,2 м;
- детально описывают геологический разрез шурфа;
- стенки зумпфа закрепляют металлическим цилиндром, дно зачищают, закрывают слоем гравия и устанавливают мерную линейку;
- устанавливают гарированную емкость с приспособлением для подачи воды в зумпф;
- медленно заполняют зумпф водой до отметки 0,1 м, а затем подачей воды (автоматически или вручную) поддерживают этот уровень в течение всего опыта;

- расход воды измеряют с интервалами 10-20 минут, опыт продолжается до стабилизации расхода, когда в течение двух часов он не отклоняется от среднего более чем на 10 %.

В журнал налива в виде таблицы заполняются следующие сведения:

- номер отчета;
- время замера (часы, минуты);
- промежуток между замерами (минуты);
- поглощенный объем воды (дм³);
- расход (дм³/мин).

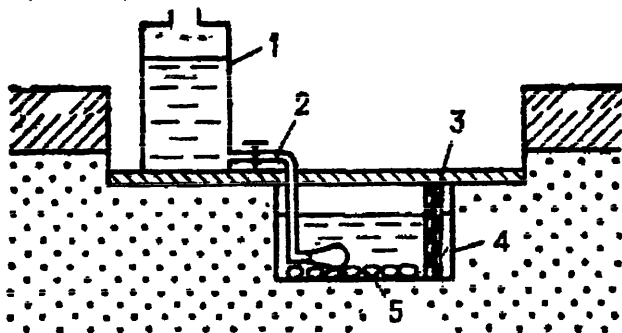


Рис.5.9. Установка опытного налива по методу Болдырева

Одновременно строится график изменения расхода воды в течение опыта.

Расход воды Q через площадь поперечного сечения фильтрующей толщи ω определяется по формуле

$$Q = \omega \cdot K \frac{(h_k + z + l)}{l}, \quad (5.32)$$

где h_k – капиллярное давление, развивающееся при инфильтрации;

z – толщина слоя воды в шурфе;

l – глубина просачивания воды.

Если принять напорный градиент, близким к единице, пренебречь капиллярным давлением, то коэффициент фильтрации определяется по формуле

$$K = v = \frac{Q}{\omega}, \quad (5.33)$$

где Q – стабилизировавшийся в процессе налива расход воды.

Метод Нестерова Н.С. основан на том предположении, что при инфильтрации воды из двух цилиндров, расположенных концентрически, на

растекание расходуется вода из внешнего цилиндра, а поток воды из внутреннего цилиндра направлен прямо вниз (рис.5.10).

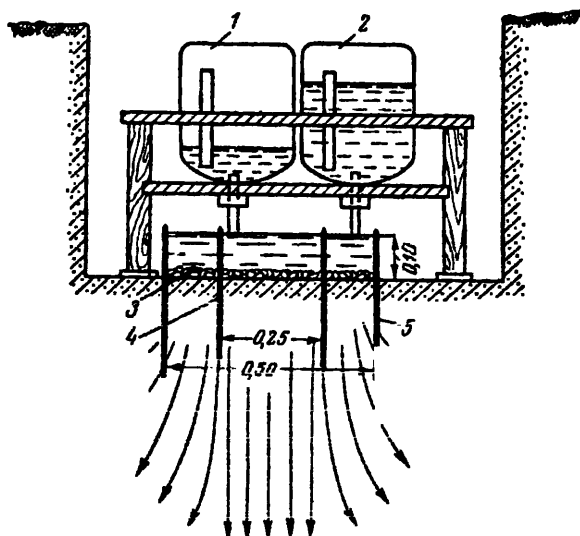


Рис. 5.10. Установка для опытного налива в шурф по методу Нестерова

При этом при установившемся расходе воды, градиент инфильтруемого потока из внутреннего цилиндра приравнивается к единице, а скорость фильтрации — к коэффициенту фильтрации. Этот метод применяется главным образом в мелкозернистых и глинистых породах и предусматривает последовательное проведение следующих операций:

- проводится и документируется шурф;
- в тщательно зачищенное дно шурфа аккуратно вдавливаются концентрические кольца (на 5-6 см) и покрывают дно мелким гравием;
- одновременно заполняют оба цилиндра водой на 0,1 м от дна;
- в течение опыта уровень воды в обоих цилиндрах поддерживается строго одинаковым, для чего используются автономные для каждого цилиндра сосуды Мариотта или другие баки с автоматическими регуляторами;
- измеряют и записывают с интервалом 10-20 минут в журнал расход воды во внутренний цилиндр и строят график изменения расхода во времени;

- для определения глубины промачивания по окончании опыта проходят в центр шурфа скважину (3-4 м) и через 0,2 м отбирают образцы пород на влажность;

- для контроля естественной влажности проходят, документируют и опробовывают скважину в 3-4 метрах от шурфа.

Вычисляется коэффициент фильтрации по формуле

$$K = \frac{Q \cdot l}{\omega(h_K + z + l)}, \quad (5.34)$$

где Q – установившийся фильтрационный расход через внутреннее кольцо;

l – глубина просачивания воды;

z – слой воды в кольце;

ω – площадь поперечного сечения фильтрующей воды.

По результатам опыта составляют сводный лист опытного налива в шурф.

5.6. Экспресс-опробование водоносных горизонтов

Экспресс-опробование – это изучение объектов с помощью кратковременного их возмущения. Служит для предварительной оценки фильтрационных свойств водоносных горизонтов. В состав экспресс-методов входят:

- опережающее опробование водоносных горизонтов;
- экспресс-откачки;
- экспресс-наливы.

Опережающий метод опробования применяется для водоносных пород, представленных рыхлыми песками, супесями с небольшим включением твердых частиц в виде щебня или гальки.

Суть метода состоит в следующем:

- при встрече водоносного горизонта поднимают бурильный инструмент;
- на бурильных трубах на забой опускают фильтр-опробователь;
- фильтр-опробователь состоит из перфорированной трубы, покрытой сеткой или проволокой, и бурового наконечника, заканчивающегося соплом;
- на забое включается буровой насос и по бурильным трубам нагнетается вода, размывая забой, что позволяет фильтру-опробователю внедряться в водоносный горизонт;

- после внедрения закачка заканчивается и в бурильных трубах устанавливается уровень, соответствующий статическому уровню испытываемого водоносного горизонта;

- выбирают способ откачки (обычно эрлифт с применением тонких трубок);

- откачка с замером уровней и дебита проводится 6-8 часов до осветления воды, затем отбирают пробы на химанализ.

Таким образом, метод опережающего опробования без обсадки скважины трубами, удаления глинистого раствора из скважины, спуска фильтра и его разглинзации позволяет опробовать рыхлые водоносные горизонты и получить данные о химическом составе воды и статическом уровне водоносного горизонта.

Производительность труда повышается в 4-5 раз, затраты средств снижаются в 8-10 раз.

Экспресс-откачки и экспресс-наливы применяются при исследовании пород с невысокой водопроницаемостью. Метод заключается в кратковременном отборе или наливе воды в скважину и наблюдении за изменением уровня при этом в течение опыта. Водопроницаемость определяется по эталонным кривым и по расчетным формулам.

5.7. Расходомерия в гидрогеологических скважинах

Расходомерия скважин позволяет определить глубину залегания, мощность и гидродинамические параметры проницаемых пород. Суть метода заключается в определении и анализе профиля расхода потока по стволу скважины при наливе, откачке или в естественных условиях. Эффективен этот метод при незаглинзированных скважинах и основывается на том, что поток воды в скважине изменяется лишь в интервале проницаемых пород, а в пределах водоупоров остается постоянным. Расход воды в определенном интервале пласта находится по разности расходов потока в его кровле и подошве (рис.5.11).

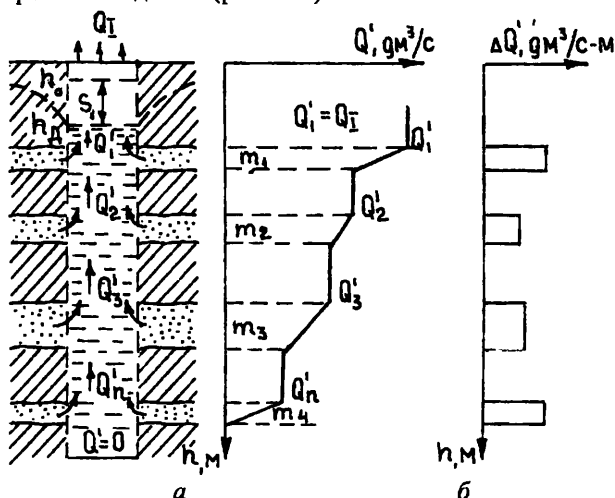


Рис.5.11. Схема расходомерического исследования скважины при откачке (по И.И.Гринбауму): а - расходомерия $Q' = f(h)$; б - дифференциальная расходограмма $\Delta Q' = f(h)$

На основе анализа графиков изменения расхода потока определяются мощности пластов, водопроницаемость, напоры и т.п. [10].

Знание величин пьезометрических напоров водоносных пластов необходимо для расчета таких параметров, как водопроводимость, коэффициент фильтрации и др. Для определения напора пласта необходимо или замерить его по манометру или по отметке уровня воды в скважине. При этом обязательным условием является изоляция всех остальных пластов по стволу скважины, что усложняет и удорожает проведение опытно-фильтрационных работ.

Оценка напоров водоносных пластов может быть выполнена в процессе расходомерии при откачках, наливах, а также в скважинах, находящихся в покое. Вполне объяснимо, что при несовпадении изометрических напоров отдельных пластов образуются перетоки между этими пластами, определяющими вертикальную циркуляцию воды между ними (рис. 5.12). И наоборот, отсутствие такой циркуляции говорит о совпадении пьезометрических уровней вскрытых пластов.

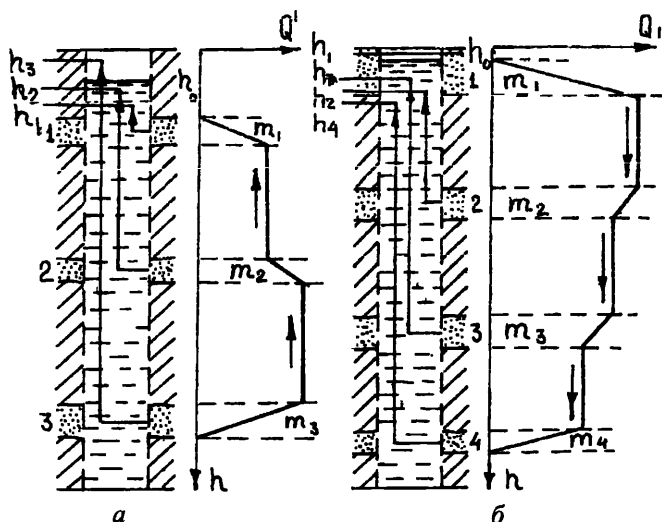


Рис. 5.12. Расходограммы скважин в неработающих скважинах: а – перетекание подземных вод снизу-вверх; б – перетекание подземных вод сверху-вниз

Такие расходограммы не только фиксируют границы проницаемых и водоупорных пластов, но и разделяют пласты на обводняющие и обводняемые. Пьезометрический уровень любого водоносного пласта находится по материалам расходомерии при трех различных степенях динамического режима скважин. Учитывая, что естественное состояние сква-

жин ($Q = 0$) рассматривается как один из этих режимов, необходимо проведение откачек на две ступени понижения. Для послойного определения водопроводимости и коэффициента фильтрации пород разработан целый ряд теоретических и эмпирических формул, применение которых возможно для условий установившегося и неуставившегося режимов, как для грунтовых, так и для напорных вод. Для иллюстрации приведем расчеты уровня для определения водопроводимости коэффициента фильтрации водонасыщенных пород при исследованиях, проведенных при установившемся режиме фильтрации.

Для напорного водоносного пласта:

$$q_i = \frac{Q_i}{S_i} \equiv K_i M_i; \quad K_i \equiv \frac{Q_i}{S_i M_i}. \quad (5.35)$$

Для слоев в безнапорном водоносном пласте

$$q_i = \frac{Q_i}{S_0} \equiv K_i M_i \left(1 \pm \frac{S_0}{2H} \right); \quad K_i \equiv \frac{Q_i}{M_i S_0 \left(1 + \frac{S_0}{2H} \right)}, \quad (5.36)$$

где K_i – коэффициент фильтрации пласта по данным расходомеррии;
 Q_i – дебит водопритока (водопоглощения) пласта

$$Q_i = \frac{2\pi M_i K_i S_i}{\text{Lu} R_i / r_0};$$

M_i – мощность пласта по расходограмме;

H – полная мощность безнапорного водоносного горизонта;

S_i – опытное понижение (повышение) динамического уровня воды в опытной скважине относительно пьезоуровня напорного пласта;

S_0 – понижение (повышение) динамического уровня в опытной скважине;

R_i – радиус влияния;

R_0 – радиус опытной скважины.

При обосновании методики расходометрических работ и выборе динамических режимов исследования скважин принимаются во внимание тип гидрогеологического разреза, характеристика водовмещающих пород, способ бурения и конструкция скважины, статические уровни воды и др.

Расходометрические измерения проводятся при разных динамических режимах, которые применительно к этим исследованиям имеют свои достоинства и недостатки. Фонтонирующие скважины наиболее удобны для исследований, так как не требуют искусственного создания в них динамического режима. Откачки дают возможность проводить расходометрические наблюдения в условиях высоких дебитов (что является основным их преимуществом), но является весьма затратным предприятием.

Наливы в скважины, хотя и выполняются с незначительными дебитами, являются малозатратным опытом и просты в организации работ.

Камеральная обработка результатов расходометрических исследований заключается в построении расходограмм, на основании которых дается пространственная характеристика гидрогеологического разреза и выполняются количественные расчеты фильтрационных параметров водоносных пластов. На сводном чертеже расходометрических исследований показываются следующие данные: вид расходометрического исследования, статический уровень воды в скважине, дебиты и удельные дебиты откачек и выпусков и пр., результаты откачек, результаты расходомерии, где указываются границы интервалов водопритоков, их мощность, расчеты водопроницаемости, коэффициента фильтрации, показываются совмещенные графики дебитов $Q_i = f(h_d)$ и др.

5.8. Определение направления и скорости движения подземных вод

Для оценки условий формирования подземных вод, выявления путей миграции в воде различных компонентов, оценки изменения качества подземных вод необходимо знать направление и скорость движения подземных вод.

Задача определения направления движения подземных вод упрощается при наличии карты гидроизогипс (гидроизопьез), где направление движения определяется по линии токов.

При отсутствии карт направления движения определяются по скважинам (не менее трех), вскрывших водоносный горизонт и расположенных друг от друга на расстоянии 50-200 м и по углам треугольника. При этом строится карта гидроизогипс и по линии тока определяется направление движения. При невозможности использования карт и бурения трех скважин направление движения подземных вод определяется геофизическими методами. Одним из них является односкважинный метод – метод фотографирования конусов выноса от точечного источника красителя, при котором периодически фотографируются распространяющиеся от специальной капсулы красителя на фоне стрелки магнитного или гидро-скопического указателя.

Действительная скорость движения подземных вод определяется индикаторными методами, при которых в испытываемый горизонт вводится через центральную скважину какой-либо индикатор и по наблюдательным скважинам регистрируется скорость его передвижения в пласте.

В качестве индикатора берутся красящие вещества, электролиты, радиоактивные индикаторы.

Перед проведением опыта необходимо тщательно изучить геолого-гидрогеологические особенности участка, провести расходомерику, понижервальное опробование скважин, предусмотреть тщательный тампонаж.

Наблюдательные скважины располагаются вниз по потоку на следующих расстояниях от центральной:

- суглинистых и супесчаных породах – 0,5-2,0 м;
- в песчано-зернистых породах – 2,0-8,0 м;
- в гравийно-галечниках и трещиноватых породах – 5,0-15,0 м;
- в закарстованных породах – 15,0-50,0 м.

Наблюдательных скважин может быть одна - три. Скорость движения подземных вод определяется по времени движения индикатора и появления его в наблюдательной скважине.

Время для расчетов берется по величине максимальной концентрации индикатора.

Вопросы для контроля

1. Назовите виды полесвых опытно-фильтрационных работ.
2. Какая разница между откачкой и выпуском?
3. Что называется откачкой подземных вод?
4. Охарактеризуйте режим движения подземных вод при откачках.
5. Можно ли построить график площадного прослеживания по оди-
ночной откачке? Почему?
6. Можно ли построить график временного прослеживания по кус-
товой откачке? Почему?
7. Сущность “метода зеркальных отображений”.
8. Для чего необходимы наблюдения за восстановлением уровня по-
сле откачки?
9. Чем обусловлен выбор числа понижений при откачке?
10. Сущность метода опережающего опробование водоносного гори-
зонта?
11. Параметры, определяемые по результатам расходометрических
измерений в скважинах?

6. ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Изучение режима подземных вод позволяет количественно охарактеризовать процесс формирования подземных вод, дать прогноз изменения гидрогеологических условий в естественных условиях, а также при нарушении этих условий хозяйственной деятельностью человека.

Под режимом подземных вод понимается процесс, характеризующийся изменением уровня, расхода, гидравлического уклона, скорости, температуры, вязкости, химического, газового и бактериологического состава во времени и пространстве.

В зависимости от характера определяющего режим явлений, различают естественный, нарушенный и смешанный режимы.

Естественный режим подземных вод формируется под влиянием комплекса естественных природных факторов, которыми являются:

- геологические;
- климатические;
- гидрогеологические;
- биолого-почвенные и другие.

Нарушенный режим подземных вод формируется под влиянием искусственно созданных факторов, таких как:

- откачки подземных вод для водоснабжения или орошения;
- осушение месторождений полезных ископаемых;
- мелиорация сельскохозяйственных земель и пр.

Смешанный режим подземных вод обусловлен искусственным воздействием на режимобразующие факторы, при сохранении основных закономерностей естественного режима.

Региональные исследования режима подземных вод направлены на влияние общих региональных закономерностей режима (в основном под влиянием естественных факторов).

Локальные исследования ставят своей целью изучение особенностей режима под влиянием местных факторов (литология, режим рек и водоемов, инженерная деятельность и пр.).

Изучение режима подземных вод дает возможность определить следующие показатели:

- связи и зависимости природных и искусственных режимобразующих факторов;
- элементы водного баланса для обоснования водохозяйственных мероприятий;
- характер и степень влияния инженерной деятельности человека на подземные воды.

Под балансом подземных вод понимается соотношение между их поступлением (приходная часть) и расходом (расходная часть) в

количественном выражении на той или иной площади за определенный период времени.

Изучение элементов водного баланса, выявление основных показателей создает основу для научного познания и управления режимом подземных вод.

Изучение режима и баланса подземных вод необходимо в целях обеспечения решения различных задач:

- закономерностей изменения режима для определения фона, на котором развивается нарушенный режим подземных вод;
- выявления граничных условий пласта;
- определения фильтрационных свойств пород.

Режимные и балансовые исследования проводятся для решения многих практических вопросов.

При интенсивной эксплуатации подземных вод вопросы режима изучаются для следующих основных целей:

- выявления эксплуатационных запасов подземных вод;
- уточнения границ пласта в плане и разрезе;
- прогноза и управления режимом;
- уточнения расчетных параметров;
- переоценки запасов подземных вод с учетом многолетних данных о колебаниях уровней;
- контроль за эффективностью мероприятий по охране подземных вод.

В орошаемых районах режимные наблюдения осуществляются для решения следующих вопросов:

- обоснования мероприятий по засолению и заболачиванию массивов орошения;
- оценки особенностей естественного и нарушенного режима и режимообразующие факторы;
- оценки элементов баланса подземных вод;
- составления прогноза подземных вод;
- разработки рекомендаций по регулированию водным и солевым балансом территории.

Изучение режима подземных вод в районе шахтных и карьерных полей необходимо:

- для установления связей между элементами режима шахтных вод и обуславливающими их искусственными и естественными факторами;
- прогноза формирования водопритоков в пределах данного месторождения и на вновь разведываемых месторождениях;
- прогноза развития и формирования депрессионной воронки в зависимости от совокупности факторов;
- прогноза изменения качества и величины водопритока шахтных вод в результате водоотливных мероприятий;

- прогноза изменения гидрогеологических условий в районе расположения горных выработок.

В районах строительства водохранилищ и каналов изучение режима необходимо:

- для предупреждения заболачивания территории, подпора и пр.;
- прогноза изменений условий водоснабжения, мелиоративного состояния земель и пр.

Изучение режима минеральных и теплоэнергетических вод необходимо:

- для прогноза изменения дебита, физических свойств, химического и газового состава;
- охраны подземных вод от истощения;
- прогноза изменения бальнеологических или температурных свойств.

В районах крупных городов режим подземных вод изучается для получения необходимой информации о подземных водах, используемой при проектировании и эксплуатации инженерных сооружений.

При изучении режима подземных вод с целью охраны их от загрязнения решаются следующие задачи:

- обнаружения очагов загрязнения;
- определения элементов потока подземных вод;
- прогноза процессов загрязнения подземных вод.

Основной целью режимных (стационарных) наблюдений является изучение изменения уровня и качества подземных вод в течение времени и выявление связи этих изменений с режимообразующими факторами. Изучаются как грунтовые, так и напорные воды. Наибольшим многообразием изменения режима отличаются грунтовые воды.

При проведении режимных наблюдений должны быть получены данные как о характере внутригодовых (сезонных), так и многолетних колебаний основных элементов режима подземных вод (уровней, температуры, химического состава и пр.).

Наблюдения за режимом осуществляются по специальной сети наблюдательных пунктов:

- скважины;
- источники;
- шурфы;
- колодцы.

К оборудованию этих водопунктов предъявляются определенные требования, главные из которых:

- исключение загрязнения;
- исключение попадания атмосферных осадков;
- изоляция точки наблюдения от других объектов;

- возможности отбора проб воды;
- возможности замера температуры, дебита, уровней;
- специальное оборудование в зимнее время и пр.

Наблюдательные пункты образуют опорную Государственную сеть и сеть специального назначения, оборудованную заинтересованными организациями на участках интенсивного освоения территории.

Вопросы для контроля

1. Что понимается под режимом подземных вод?
2. Под влиянием каких природных факторов формируется режим подземных вод?
3. Какие задачи решаются посредством изучения режима и баланса подземных вод?
4. Задачи изучения режима подземных вод в районах строительства гидротехнических сооружений.
5. Требования, предъявляемые к режимным водопунктам.

7. ЗАПАСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Подземные воды, пригодные для использования в народном хозяйстве, являются полезными ископаемыми, имеющими ряд специфических особенностей.

Главными из этих особенностей являются не только их возобновляемость и сработка, но, зачастую, и усиленное питание, обусловленное водоотбором. Например, поверхностные водоемы при эксплуатации гидравлически связанных подземных вод, могут из областей разгрузки превращаться в область питания. Могут быть и другие случаи возобновляемости запасов, которые будут рассмотрены ниже. Еще одной существенной особенностью подземных вод является их подвижность и тесная взаимосвязь с окружающей средой, что проявляется при эксплуатации в граничных условиях пласта. Под граничными условиями понимаются условия взаимосвязи подземных вод с поверхностными, а также условия питания и разгрузки подземных вод. Все эти факторы влияют на условия эксплуатации и нередко на изменение качества подземных вод при эксплуатации.

К особенностям подземных вод как полезных ископаемых необходимо отнести также влияние отдельных водозаборов, расположенных в пределах одного месторождения. Эти процессы взаимодействия водозаборов не позволяют суммировать запасы воды по отдельным участкам, как это делается для твердых полезных ископаемых.

Еще одна важная особенность подземных вод заключается в том, что при оценке перспектив использования подземных вод учитывается не только количество воды и величина ее постушления в пласт, но и фильтрационные свойства водовмещающих пород, определяющих сопротивление движения подземных вод к водозаборным сооружениям. Следовательно, при определении возможности отбора подземных вод учитывается балансовый аспект, характеризующийся обеспеченностью водными ресурсами, и гидродинамический аспект, характеризующийся техническими возможностями добычи воды. Таким образом, при оценке подземных вод как полезного ископаемого необходимо выделить следующие понятийные характеристики:

- количество воды, находящейся в водоносном горизонте;
- количество воды, поступающей в водоносный горизонт в естественных условиях или при эксплуатации;
- количество воды, которое может быть отобрано рациональными в технико-экономическом отношении водозаборами.

7.1. Виды запасов подземных вод, их классификация

При оценке запасов подземных вод в отличие от запасов твердых полезных ископаемых, необходимо знать не только общее количество воды в пласте, но и учитывать питание подземных вод в естественных условиях и его изменение в процессе эксплуатации.

В практике гидрогеологических исследований существует целый ряд классификаций, в которых наибольшее расхождение имеется в понятиях «запасы» и «ресурсы». Одни авторы считают их синонимами, другие придерживаются представления, что запасы определяют только количество воды в пласте, тогда, как под ресурсами понимается поступление в пласт подземных вод.

В данном курсе будем придерживаться понятий, разработанных в классификациях Н.Н.Биндемана и Ф.М.Бочевера и получивших наибольшее признание в практической гидрогеологии.

Ниже подробно будут рассмотрены следующие виды запасов:

- естественные запасы, в т.ч.	$V, \text{м}^3$
- емкостные запасы	$V_e, \text{м}^3$
- упругие запасы	$V_y, \text{м}^3$
- регулировочные запасы	$V_p, \text{м}^3$
- естественные ресурсы	$Q_e, \text{м}^3/\text{сутки}$
- дополнительные запасы	$Q_{\text{доп.}}, \text{м}^3/\text{сутки}$
- эксплуатационные запасы	$Q_z, \text{м}^3/\text{сутки}$
- прогнозные ресурсы	$Q_p, \text{м}^3/\text{сутки}$

7.2. Оценка естественных запасов подземных вод

Под естественными запасами понимается объем гравитационной воды, заключенный в порах, трещинах, карстовых и других пустотах горных пород.

Ёмкостные запасы – объем воды, высвобождающийся из пласта при его осушении.

Упругие запасы – объем воды, высвобождающийся из напорного водоносного горизонта при понижении в нем пластового давления.

Определение емкостных запасов подземных вод

Ёмкостные запасы подземных вод определяются гравитационной емкостью пород. Эта емкость является отражением способности водонасыщенных пород отдавать часть воды свободным стеканием ее под действием силы тяжести или способности ненасыщенных пород вмещать определенное количество воды при свободном водонасыщении.

В первом случае это свободная водоотдача, во втором – недостаток насыщения.

Мерой свободной водоотдачи является коэффициент водоотдачи (μ), т.е. отношение объема гравитационной воды, свободно стекающей из породы (V_r) к ее осушенному объему (V_o);

$$\mu = \frac{V_{\Gamma}}{V_0}. \quad (7.1)$$

Значения коэффициента водоотдачи μ зависят от свойства и состава пород:

- песчаные породы - 0,1 - 0,2;
- супеси, суглинки - 0,02 - 0,05;
- пылеватые и глинистые пески - 0,05 - 0,1;
- трещиноватые известняки - 0,005 - 0,1;
- сланцы, песчаники - 0,001- 0,03.

Величина емкостных запасов V_e рассчитывается по формуле:

$$V_c = \mu \cdot W, \quad (7.2)$$

где V_e — емкостные запасы;
 μ — коэффициент водоотдачи;
 W — объем пласта.

При неоднородных пластах

$$V_c = \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot W_i,$$

где μ_i и W_i – коэффициент водоотдачи и объем пласта на отдельном i -м участке ($i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$).

Емкостные запасы безнапорных водоносных горизонтов постоянно изменяются с изменением уровня режима. Они могут быть как максимальными (при наиболее высокой поверхности уровня), минимальными и средними.

Объем гравитационной воды, находящейся в зоне колебания уровня грунтовых вод, называется регулировочными запасами, которые определяются:

$$V_p = \mu \cdot \Delta W = \mu \cdot F \cdot \Delta h \quad (7.3)$$

где V_p – регулировочные запасы;
 μ – коэффициент водоотдачи;
 W – объем пласта между высоким и наимизшим уровнем подземных вод;
 F – площадь распространения водоносного горизонта;
 Δh – амплитуда колебания уровня.

7.3. Определение упругих запасов подземных вод

Упругие запасы подземных вод — это количество воды, содержащееся в трещинах и порах пластов и высвобождающееся при вскрытии

пласта и снижении пластового давления за счет объемного расширения при этом воды и уменьшения пустотности пород.

Упругая емкость пластов проявляется в условиях неустановившейся фильтрации при упругом режиме. При повышении давления в пласте вода сжимается, уменьшаясь в объеме, пористость пород увеличивается, что позволяет пласту вместить большее количество воды, чем при атмосферном давлении. При снижении давления происходит обратная картина и высвобождается определенное количество воды, так как вода расширяется, а пустотность пород уменьшается. Наибольшей упругой деформацией обладают рыхлые и слабосцементированные пески.

В крупных артезианских бассейнах количество высвобождающейся воды может достигать больших объемов. Определяют упругие запасы по следующей формуле

$$V_y = W \cdot \beta^* \cdot \Delta P, \quad (7.4)$$

где V_y – упругие запасы;

W – объем водоносного пласта;

ΔP – снижение пластового давления при эксплуатации;

β – коэффициент упругоэластичности пласта.

Коэффициент упругоэластичности пласта показывает, какую долю объема пласта составляет объем жидкости, высвободившейся из пласта при снижении пластового давления на единицу:

$$\beta^* = n\beta_w + \beta_n \quad (7.5)$$

где n – пористость породы;

β_w – коэффициент объемной упругости воды, значение его равно $(2,7 + 5,0) \cdot 10^{-6} \text{ 1/м}$;

β_n – коэффициент объемной упругости водовмещающих пород, значение его равно $(0,3 + 2,0) \cdot 10^{-6} \text{ 1/м}$.

Отсюда значение коэффициента упругоэластичности находится в пределах $(1,5 + 4,0) \cdot 10^{-6} \text{ 1/м}$.

Показателем упругой емкости пласта является также коэффициент упругой водоотдачи (μ^*), характеризующий способность пласта отдавать воду при понижении напора. Коэффициент упругой водоотдачи представляется отношением объема воды W_y , выделяющейся из пласта при понижении за счет упругих свойств воды и деформации горных пород к объему сформировавшейся при этом депрессии W_d в пьезометрической поверхности.

$$\mu^* = \frac{W_y}{W_d}. \quad (7.6)$$

Определение упругих запасов по коэффициенту упругой водоотдачи осуществляется по формуле

$$V_y = \mu^* \cdot W_d = \mu^* \cdot \pi \cdot R^2 \Delta P_{cp}, \quad (7.7)$$

где R – радиус воронки депрессии;

ΔP_{cp} – средневзвешенное понижение напора.

Средние значения коэффициента μ^* для рыхлых пород составляют 10^{-3} – 10^{-4} , для трещиноватых 10^{-3} – 10^{-4} .

7.4. Формирование и оценка естественных ресурсов подземных вод

Основы учения о естественных ресурсах подземных вод заложил Ф.П.Саварский, который под естественными ресурсами понимал обеспечение в водном балансе данного района поступления подземных вод. После разработки и полемики обсуждений понятий «ресурсы» и «запасы», большинство гидрогеологов стали употреблять термин «естественные ресурсы подземных вод», под которым понимается обеспеченный питанием приток или отток подземных вод. Этот термин связывает в единое целое питание подземных вод и их движение.

По определению Л.С.Язвина, естественные ресурсы – это количество воды, поступающей в водоносный горизонт в естественных условиях в результате инфильтрации атмосферных осадков, фильтрации из рек и озер, перетекания из выше- и нижележащих горизонтов, притока со смежных территорий. Естественные ресурсы водоносного горизонта равны сумме всех приходных элементов баланса данного горизонта.

Инструкция Государственного комитета по запасам гласит: «Естественные ресурсы – это величина питания водоносного горизонта в ненарушенных эксплуатацией подземных вод гидрогеологических условиях, равная сумме всех приходных элементов баланса водоносного горизонта. Величина естественных ресурсов может изменяться по сезонам года и в многолетнем периоде в зависимости от интенсивности питания водоносного горизонта» [16]

В нарушенных при эксплуатации подземных водах гидрогеологических условиях питания водоносного горизонта может возрасти за счет улучшения условий инфильтрации атмосферных осадков, уменьшения испарения с поверхности грунтовых вод и транспирации, и пр.

В безнапорных пластах источником поступления воды являются:

- инфильтрационное питание;
- боковой приток;
- питание за счет конденсационных вод зоны аэрации;
- фильтрация поверхностных вод;
- приток через подошву из высоконапорного нижележащего пласта.

Расходными составляющими естественных ресурсов являются:

- дренирование поверхностными водотоками и водоемами;

- испарение и транспирация;
- боковой отток;
- отток через подошву в пласт с меньшими напорами.

В напорных пластах естественные ресурсы формируются за счет:

- бокового притока;
- перетекания через подошву и кровлю.

Разгрузка осуществляется через боковой отток и перетекание.

Процессы поступления воды в водоносные пласты очень разнообразны и зависят от ряда факторов, главные из которых:

- геологическое строение территории (структурное положение горизонта, типы пород, тектонические нарушения и т.п.);
- физико-географические условия (климат, гидрография, почвенный покров и т.п.);
- гидрогеологические условия (фильтрационные свойства пород, мощность водоносного горизонта, глубина залегания грунтовых вод и т.п.);
- хозяйственное освоение территории (орошение, осушение, эксплуатация водозаборов и т.п.).

Естественные ресурсы подземных вод рассчитываются:

- по величине суммарного питания;
- по величине разгрузки подземных вод.

Если есть сведения о площадном питании и боковом притоке, то естественные ресурсы участка рассчитываются:

$$Q_e = \sum_{i=1}^n \xi_i F_i + Q_6 \quad (7.8)$$

где Q_e – естественные ресурсы;

ξ_i – величина питания подземных вод за счет i -го источника питания (количество воды, поступающей на единицу площади водоносного горизонта в единицу времени);

F_i – площадь питания;

Q_6 – боковой приток.

Часто естественные ресурсы определяются расчетом или измерением расхода подземного потока, что не требует расчетов балансовых составляющих. Однако такие расчеты естественных ресурсов могут быть заниженными.

В связи с тем, что климатообразующие факторы в течение времени весьма значительно могут изменяться, тем самым, влияя на условия формирования естественных ресурсов, необходимо использовать многолетние данные. обработанные методами математической статистики. В целом, оценка естественных ресурсов, производится ли она по расходу потока или по площадному питанию, осуществляется в

зависимости от ряда факторов, зависящих от гидрогеологических условий, инженерной деятельности, технико-экономических показателей и т.д.

Методы оценки естественных ресурсов типизируются по следующим группам:

- гидродинамические;
- балансовые;
- гидрометрические;
- экспериментальные;
- гидрогеологических аналогов.

Гидродинамические методы подразделяются на:

- методы, основанные на изучении режима подземных вод;
- методы расчета расхода подземного потока по формулам динамики подземных вод;
- метод расчета перетекания подземных вод через слабопроницаемые пласты.

Применяются все эти методы, как для безнапорных, так и для напорных вод.

При применении методов, основанных на изучении режима подземных вод, обычно рассматривается случай, когда происходит питание безнапорных водоносных горизонтов за счет инфильтрации атмосферных осадков.

В случае, когда имеется постоянное питание по всей площади, для оценки этого питания при наличии результатов наблюдений за уровнями по трем скважинам применяется метод конечных разностей (рис. 7.1).

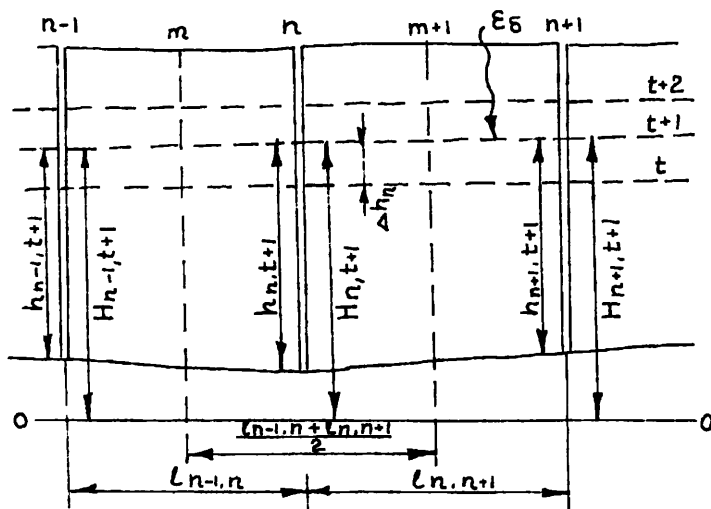


Рис. 7.1. Схема к выводу уравнения в конечных разностях

$$\xi_6 = \mu_n \frac{\Delta h_n}{\Delta t} - \frac{1}{\ell_{n-1} + \ell_{n,n+1}} \left[K_m (h_{n-1,t+1} + h_{n,t+1}) \cdot \right. \\ \left. \frac{H_{n-1,t+1} - H_{n,t+1}}{\ell_{n-1,n}} - K_{m+1} (h_{n,t+1} + h_{n+1,t+1}) \frac{H_{n,t+1} - H_{n+1,t+1}}{\ell_{n,n+1}} \right] \quad (7.9)$$

где ξ_6 – инфильтрационное питание;

μ_n – коэффициент недостатка насыщения;

Δh_n – изменение уровня грунтовых вод за время Δt в скважине n ;

K_m, K_{m+1} – коэффициенты фильтрации соответственно в сечениях m и $m+1$.

Значения остальных параметров в уравнении (7.9) понятно из рисунка 7.1.

При однородном горизонтальном пласте, когда $K_m = K_{m+1} = K$, при $l_{n-1,n} = l_{n,n+1} = l$ величина инфильтрации определяется по формуле

$$\xi_6 = \mu \cdot \frac{\Delta h_n}{\Delta t} - \frac{K}{2\ell^2} (h_{n-1,t+1}^2 - 2h_{n,t+1}^2 + h_{n+1,t+1}^2). \quad (7.10)$$

В случае, если фильтрация установившаяся, когда $\mu \cdot \frac{\Delta h_n}{\Delta t} = 0$,

$h_{n-1,t+1} = h_1$; $h_{n,t+1} = h_2$; $h_{n+1,t+1} = h_3$; из формулы (7.10) имеем:

$$\xi_6 = \frac{K}{\ell_{n-1,n} + \ell_{n,n+1}} \left(\frac{h_2^2 - h_3^2}{\ell_{n,n+1}} + \frac{h_1^2 - h_2^2}{\ell_{n+1,n}} \right). \quad (7.11)$$

Расчет подземного потока по формулам динамики подземных вод сводится обычно к расчетам по формуле Дарси:

$$Q_p = \frac{K_1 F_1 \cdot K_2 F_2}{2} J, \quad (7.12)$$

где Q_p – расход подземного потока;

K_1 и K_2 – коэффициенты фильтрации водоносного горизонта в сечениях, расположенных выше и ниже по потоку;

F_1 и F_2 – площади расчетных сечений;

J – напорный градиент между сечениями.

$$J = \frac{H_1 - H_2}{l}, \quad (7.13)$$

где H_1, H_2 – напоры в сечениях;

l – расстояние между сечениями.

Выбор расчетных сечений производится с помощью карт гидроизогипс или гидроизогипс. Для получения точного достоверного результата необходимы данные по значительному количеству точек наблюдения.

Определение питания за счет перетекания через слабопроницаемые пласты может быть определено по формуле:

$$\xi_{\text{п}} = \frac{k_0}{m_0} (H_2 - H_1), \quad (7.14)$$

где $\xi_{\text{п}}$ – количество воды, поступающее в единицу времени в рассматриваемый водоносный горизонт через единичную площадь его слабопроницаемой кровли или подошвы;

K_0 – коэффициент фильтрации кровли или подошвы;

m_0 – мощность кровли или подошвы;

H_1, H_2 – гидродинамические напоры соответственно рассматриваемого и соседнего пластов.

Изучение естественных ресурсов балансовыми методами предполагает равенство прихода и расхода воды в пределах подземного потока.

Естественные ресурсы балансовым методом могут быть определены как для обособленных гидрогеологических бассейнов, так и для отдельных их участков или месторождений. Здесь различаются следующие методы:

- методы, основанные на решении уравнений водного баланса локальных участков (для поверхности земли, для зоны аэрации, для водоносных горизонтов);

- метод среднесноголетнего общего водного баланса.

Обычно балансовые расчеты проводят на специально выбранных и оборудованных балансовых участках, а затем данные распространяют на сходные территории. В пределах крупных гидрогеологических регионов таких участков обычно несколько.

Уравнение водного баланса воды на поверхности земли рассматривается для засушливых районов, в которых питание водоносных горизонтов происходит в период весеннего снеготаяния:

$$\xi_6 = X_{\text{эф}} - (Y_{\text{в}} + Z_{\text{в}}), \quad (7.15)$$

где ξ_6 – инфильтрационное питание;

$Y_{\text{в}}$ – весенний поверхностный сток;

$Z_{\text{в}}$ – испарение в течение периода стока;

$X_{\text{эф}}$ – эффективные атмосферные осадки, принимаемые как сумма количества влаги в снеге и атмосферные осадки в период снеготаяния.

Приведем пример расчета питания водоносного горизонта по разности между расходом и приходом влаги в водоносный горизонт (табл. 7.1)

Таблица 7.1

**Составляющие прихода и расхода влаги в пределах
рассматриваемого района**

Приход	м ³ /с	Расход	м ³ /с
Подземный сток, поступающий в пределы района	7,2	Испарение с водной поверхности	4,8
Атмосферные осадки, выпадающие на всю площадь района	14,7	Испарение с поверхности почвы и транспирация	5,7
Суммарный расход рек, поступающих в пределы района	21,1	Речной сток за пределы района	14,4
Итого:	43,0	Итого:	24,9

Отсюда, питание водоносного горизонта:

$$\xi_6 = 43,0 - 24,9 = 18,1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Метод среднесноголетнего общего водного баланса разработан для артезианских вод, получающих питание в краевых частях артезианского бассейна и дренирующихся в долинах рек, являющихся областями разгрузки. Автор этого метода Б.И.Куделин предполагал, что при замедленных скоростях движения и больших сроках водообмена колебания ресурсов артезианских вод связаны лишь с многолетними изменениями климата. В связи с этим в изучении естественных ресурсов артезианских бассейнов целесообразно исходить из многолетнего водного баланса. В балансовом уравнении при этом не учитываются изменения запасов влаги в зоне аэрации, на поверхности земли, в грунтовом потоке и т.п. Эти параметры в многолетнем разрезе стремятся к нулю.

Балансовое уравнение для определенной территории

$$X_0 = Y_0 + Z_0, \quad (7.16)$$

где X_0 – норма осадков;

Y_0 – норма речного стока;

Z_0 – норма испарения.

Значения X_0 , Y_0 , Z_0 являются нормой, если они вычислены за многолетний период такой продолжительности, при увеличении которой полученное среднее значение существенно не меняется.

Б.И.Куделин предложил, что если речной бассейн расположен в области инфильтрационного питания, то уравнение (7.17) нельзя использовать, так как часть воды идет на питание глубоких водоносных горизонтов. То же самое можно сказать и об областях разгрузки артезианских подземных вод.

Для речных бассейнов, расположенных в областях инфильтрационного питания артезианских водоносных горизонтов

$$X_0 = Y_0 + Z_0 + J_0, \quad (7.17)$$

где J_0 – величина инфильтрации в артезианский водоносный горизонт;
Для речных бассейнов, где происходит дренирование артезианских вод

$$X_0 = Y_0 + Z_0 - J_0^1, \quad (7.18)$$

где J_0^1 – величина среднемноголетней разгрузки артезианских вод в речном бассейне

Отсюда среднемноголетняя инфильтрация в артезианские водоносные горизонты (E_0) равна

$$\pm E_0 = X_0 - J_0 - Z_0. \quad (7.19)$$

Определение параметров, входящих в уравнение (7.19) не требует серьезных дополнительных исследований, для этого обычно достаточно иметь многолетние сведения о геологии, гидрогеологии, гидрологии и климату изучаемой территории.

Гидрометрические методы, основанные на определении разности расходов рек в двух створах или на изучении меженного стока реки. Сюда также могут быть отнесены методы генетического расчленения гидрографов рек, данных о качестве подземных и поверхностных вод, а также основанные на изучении родникового стока.

Метод, основанный на определении разности расхода реки в двух гидрометрических створах.

$$Q_p = Q_2 - Q_1, \quad (7.20)$$

где Q_p – расход подземного потока;

Q_1, Q_2 – расходы реки в верхнем и нижнем гидрометрических створах.

Средний единичный расход подземного потока определяется по формуле:

$$q_p = \frac{Q_2 - Q_1}{l}, \quad (7.21)$$

где q_p – единичный расход;

l – расстояние между створами.

Если естественные ресурсы подземных вод формируются за счет поглощения поверхностного стока в уравнениях (7.20) и (7.21), значения Q_2 будут меньше, чем Q_1 .

Изучение меженного стока реки осуществляется для оценки естественных ресурсов при решении различных водохозяйственных задач. Метод основан на том, предположении, что меженный сток реки формируется. Лишь за счет устойчивого подземного питания.

На гидрографе стока реки этот период соответствует периоду наименьшей водности реки, когда имеются лишь незначительные колебания расходов, вызванные изменением интенсивности подземного стока (рис. 7.2).

Метод генетического расчленения гидрографов рек разработан для регионов с хорошо развитой речной сетью и основан на выделении из общего стока реки той его части, которая формируется за счет дренирования водоносных горизонтов и комплексов.

Наиболее простым вариантом расчета здесь является случай, когда река в определенный период года имеет только подземное питание.



Рис.7.2. Гидрограф реки с выделением зимнего и летнего меженных периодов

При отсутствии только подземного питания расчеты естественных ресурсов усложняются, так как появляется необходимость учитывать величину стекающих атмосферных осадков, талых вод и т.п.

В зависимости от характера взаимосвязи поверхностных и подземных вод, существует ряд схем расчленения гидрографов. Б.И.Куделиным разработана методика расчленения гидрографов для следующих условий питания подземными водами:

- река получает питание за счет грунтовых вод, имеющих с ней постоянную гидравлическую связь;
- река получает питание за счет грунтовых вод, не имеющих с ней гидравлической связи;
- река получает смешанное грунтовое питание из водоносных горизонтов, как имеющих, так и не имеющих с ней гидравлической связи;
- река получает питание за счет грунтовых и артезианских вод.

Экспериментальные методы определения питания подземных вод заключаются в непосредственном измерении величины инфильтрации при помощи различных устройств, размещенных на опытных участках. Эти

методы позволяют не только получить достоверные величины питания, но и изучить физические и физико-химические процессы, протекающие в системе горная порода – вода – воздух.

Работы ведутся с помощью специальных лизиметрических павильонов.

Метод гидрогеологических аналогов оценки условий питания заключается в экстраполяции тех или иных характеристик водоносных горизонтов и факторов формирования подземных вод с более изученных территорий на менее изученные (при наличии определенных данных по сходности сопоставленных территорий).

Региональная оценка естественных ресурсов подземных вод осуществляется для крупных регионов (бассейны, административные области, края, отдельные страны и т.п.).

Региональная оценка естественных ресурсов проводится для решения следующих задач:

- составления схемы количественного использования водных ресурсов;
- перспективного планирования использования подземных вод и оценки их эксплуатационных запасов;
- определения роли подземного стока в речном, как наиболее устойчивой составляющей расхода рек;
- оценки соотношения ресурсов поверхностных и подземных вод.

Результаты региональной оценки естественных ресурсов отображаются на специальных картах:

- среднесуточных модулей подземного стока;
- среднесуточного слоя подземного стока;
- среднесуточного питания артезианских вод;
- среднегодовых коэффициентов подземного стока;
- подземного стока, % от общего речного стока;
- среднесуточных минимальных модулей грунтового стока;
- естественных суммарных ресурсов подземных вод.

На картах характеристики естественных ресурсов подземных вод показываются либо в виде изолиний, либо в виде площадей со средними величинами отображаемых характеристик.

7.5. Условия формирования дополнительных запасов подземных вод

Дополнительные запасы ($Q_{\text{доп}}$) – это запасы, привлекаемые в процессе эксплуатации водозаборного сооружения.

Дополнительные запасы формируются при образовании депрессионных воронок и обусловлены следующими факторами:

- поступление воды из соседних бассейнов в результате смещения подземного водораздела (рис. 7.3, а);
- фильтрация из поверхностных водотоков и водоемов (рис. 7.3, б);

- инфильтрация атмосферных осадков и уменьшение испарительных процессов с поверхности уровня грунтовых вод (рис. 7.3, в);
- перетекание из соседних водоносных пластов через слабопроницаемые пласты (рис. 7.3, г);
- искусственное питание водоносного пласта из инфильтрационных бассейнов, каналов и т.п.

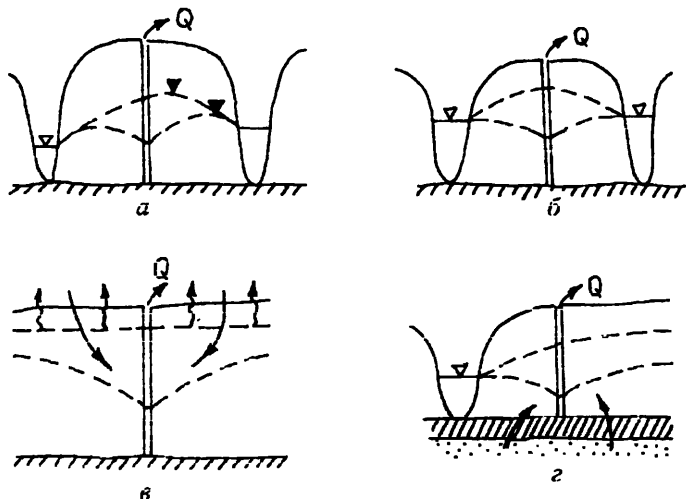


Рис.7.3. Условия формирования дополнительных запасов подземных вод

7.6. Эксплуатационные запасы подземных вод и методы их оценки

Под эксплуатационными запасами подземных вод понимается количество подземных вод, которое может быть получено на месторождении (участке) с помощью геолого-технически обоснованных водозаборных сооружений при – заданном режиме и условиях эксплуатации, а также качестве воды, удовлетворяющем требованиям целевого использования в течение расчетного срока водопотребления с учетом природных ограничений ($\text{м}^3/\text{сут.}$).

Здесь применяется термин «запасы» для величины, имеющей размерность расхода, что противоречит принятым нами различиям между запасами и ресурсами. Этот термин сохраняется в силу традиций и по аналогии с твердыми полезными ископаемыми.

Выбор участка размещения водозабора (при наличии нескольких конкурентоспособных вариантов) и его рациональной схемы осуществляется в соответствии с геолого-техническим обоснованием и с учетом природных ограничений и согласуется с местной администрацией, земле-

пользователями, органами охраны и использования недр, государственного санитарного надзора и др.

Современные водозаборные сооружения – это, как правило, система вертикальных скважин и лишь изредка галереи, колодцы, шахты, родники.

Наиболее распространены водозаборы, состоящие из того или иного количества скважин с различной системой их расположения (рис. 7.4).

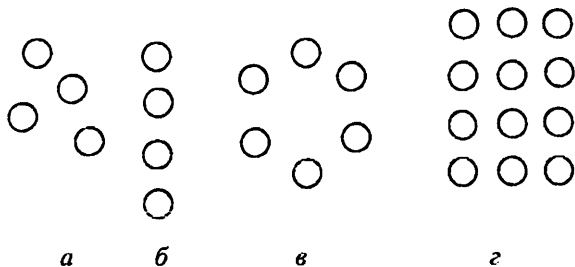


Рис. 7.4. Схема расположения водозаборных скважин: а – группа скважин, беспорядочно расположенных на площади; б – линейный ряд скважин; в – кольцевая система скважин; г – сетка скважин

Под понятием геолого-технического обоснованного водозаборного сооружения понимаются минимальные капитальные и эксплуатационные затраты, что достигается оптимальным согласованием следующих позиций:

- возможности водоотбора в объеме заявленной потребности минимальным количеством компактно расположенных водоприемных сооружений, что достигается выбором участка с наиболее благоприятными параметрами пласта и границ, оптимальной конструкции скважин, наиболее оптимальной схемы размещения водозаборных сооружений;

- наиболее близкого расположения водозабора к потребителю, обеспечивающего возможность уменьшения длины магистрального водовода, энергетических коммуникаций и т.п.

Величина допустимого снижения уровня воды в водозаборе определяется исходя из мощности водоносного горизонта, величины напора подземных вод, технических возможностей при условии предотвращения или сведения к минимуму ущерба окружающей природной среде, связанного с отбором подземных вод.

Допустимая величина понижения напора в скважине ($H_{\text{дон}}$), ниже которой не должен опускаться динамический уровень, принимается следующим образом:

- для грунтовых подземных вод величина допустимого понижения не должны превышать 0,7 первоначальной мощности пласта;

- для напорных подземных вод допустимое понижение принимается равным высоте столба воды над кровлей водовмещающего пласта.

Иногда предполагается и осушение водовмещающего пласта на половину его мощности.

В каждом конкретном случае величина допустимого понижения определяется исходя из технико-экономических соображений (в случае работы скважин на самоизливе, или эксплуатации при очень глубоких уровнях залегания подземных вод и т.п.).

Требования к условиям (режиму) и сроку эксплуатации подземных вод определяются водопотребляющими организациями с учетом гидрогеологических особенностей месторождения, характеристики водопотребителей, технико-экономических показателей эксплуатации подземных вод и существующих постановлений и положений по использованию и охране подземных вод и окружающей природной среды.

Расчетный срок эксплуатации устанавливается в зависимости от целевого назначения водозаборного сооружения:

- для водоснабжения долговременных объектов расчетный срок определяется сроком амортизации оборудования (25-30 лет) и в расчетах берется обычно 10 000 суток (27,4 лет);
- для водозаборов кратковременного действия (временных) сроком эксплуатации является срок существования потребителя;
- для периодических водозаборов (орошение, теплофикация и др.).

Кроме расчетного срока определяется продолжительность работы в период каждого цикла.

В процессе эксплуатации качество подземных вод может оставаться неизменным или изменяться. Возможность изменения качества вод обуславливается гидрогеологическими и гидрохимическими условиями, наличием источников загрязнения, условиями и величиной водоотбора. В связи с этим, срок возможного действия водозабора определяется с обязательным соблюдением условий сохранения требуемого качества воды.

Выбор и оценка качества источника централизованного питьевого водоснабжения должны проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 2761-84, а источника технического водоснабжения — с требованиями государственных и отраслевых стандартов, технических условий и конкретных водопотребляющих организаций к качеству и условиям (режиму) их эксплуатации.

Качество извлекаемой водозабором подземной воды должно сохраняться в течение расчетного срока эксплуатации в пределах, допустимых требованиям действующих ГОСТов. Каждое отклонение от этих требований согласовываются с органами санитарного надзора или водопотребляющими организациями.

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения в первую очередь используются подземные воды. Использование подземных вод питьевого качества для нужд, не связанных с питьевым и бытовым водоснабжением, как правило, не допускается. В исключительных случаях государственным органом по охране и использованию недр может быть разрешено их использование для иных целей.

Экологические ограничения при эксплуатации водозаборного сооружения касаются обычно величины отбора и чрезмерных понижений уровня с целью уменьшения ущерба поверхностному стоку и всему водному балансу территории.

Формирование эксплуатационных запасов происходит при участии генетически различных типов подземных вод. Выявление источников формирования эксплуатационных запасов и их количественная характеристика – обязательные составные части гидрогеологических прогнозов водоотбора.

Эксплуатационные запасы – это особая балансовая категория, проявляющаяся только при возмущении естественной гидродинамической обстановки конкретным водозабором, расположенным в определенном месте и имеющим определенную конструкцию.

Рассмотрим балансовую структуру эксплуатационных запасов подземных вод.

Баланс водоносного горизонта в естественных условиях при неизменном объеме запасов пласта выражается:

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{р}}, \quad (7.22)$$

где $Q_{\text{п}}$ – расход питания пласта;

$Q_{\text{р}}$ – расход разгрузки пласта.

В естественных условиях напор на границе (питающей) составит H_f и напор в горизонте H . Водозабор с дебитом Q , обуславливает появление дополнительной расходной статьи в сбалансированной естественной системе и требует определенной перестройки баланса водоносного горизонта для компенсации эксплуатационного водоотбора.

Изменения баланса заключаются в следующем:

- запасы водоносного пласта при эксплуатации уменьшаются в связи с формированием депрессионной воронки (с большей интенсивностью на начальном этапе);

- в дальнейшем понижение напора замедляется, а иногда и приостанавливается, если водоотбор компенсируется другими источниками поступления воды;

- при отсутствии источников поступления развития депрессионной воронки продолжается постепенно.

В практических расчетах эксплуатационный дебит водозабора принимается таким, чтобы за расчетный срок понижение уровня не превысило допустимого.

Чаще в реальных случаях в области эксплуатационных депрессий напоров происходит изменение естественных условий питания и разгрузки потока. Выражается это в увеличении интенсивности питания и уменьшения интенсивности разгрузки.

Уменьшение напора в пласте в условиях эксплуатации приводит к уменьшению разгрузки вплоть до её полного прекращения. Надо помнить, что интенсивность разгрузки в ненарушенных условиях характеризует питание потока, при этом величина уменьшения разгрузки равняется части используемых естественных ресурсов горизонта в процессе эксплуатации. Дальнейшее увеличение водоотбора и понижение напора в пласте может привести к возникновению потока с границы, т.е. дополнительному (не существующему в естественных условиях) питанию водоносного горизонта.

Таким образом, при работе водозабора баланс эксплуатируемого водоносного горизонта выглядит следующим образом:

$$(Q_{\text{п}} + Q_{\text{доп}}) + \frac{V_{\text{д.в.}}}{t_3} = (Q_{\text{р}} - Q_{\text{р.сокр}}) + Q_{\text{з}}, \quad (7.23)$$

где $Q_{\text{п}}$ – расход питания пласта;

$Q_{\text{доп.}}$ – дополнительные (привлекаемые) запасы;

$V_{\text{д.в.}}$ – объём депрессионной воронки (используемая часть естественных запасов);

t_3 – время эксплуатации;

$Q_{\text{р}}$ – расход разгрузки пласта;

$Q_{\text{р.сокр}}$ – сокращение разгрузки пласта;

$Q_{\text{з}}$ – эксплуатационные запасы.

При $Q_{\text{п}} = Q_{\text{р}}$ уравнение будет выглядеть:

$$Q_{\text{з}} = \frac{V_{\text{дв}}}{t_3} + Q_{\text{доп}} + Q_{\text{р.сокр}}. \quad (7.24)$$

Таким образом, эксплуатационные запасы подземных вод обеспечиваются изменениями объёма воды в пласте и суммарными изменениями расходов через границы пласта. В связи с этим они являются величиной относительной и могут быть существенно различными в одних и тех же природных условиях в зависимости от гидродинамической эффективности работы водозабора, в значительной мере определяемой конструкцией (схемой) и местоположением водозабора относительно границ пласта.

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод осуществляется следующими методами:

- гидродинамическим;
- гидравлическим;
- балансовым;
- методом аналогий.

Гидродинамический метод основан на применении для расчетов водозаборов математических формул, полученных решением дифференци-

альных уравнений фильтрации. К гидродинамическому методу относятся также методы математического моделирования.

Формулы, полученные на основе решений дифференцированных уравнений при заданных начальных и граничных условиях, используются для доказательства обеспеченности эксплуатационных запасов подземных вод.

Гидродинамический метод позволяет прогнозировать изменение уровней воды в водозаборных скважинах, учитывать различные схемы расположения этих скважин и их взаимовлияние, оценивать роль границ горизонта, влияние которых может проявляться в процессе работы водозабора.

В качестве недостатка этого метода необходимо отметить:

- сложность преобразования природной гидрогеологической обстановки в расчетную схему;
- отсутствие возможности учета неоднородности водоносного горизонта и изменения его фильтрационных свойств.

Точность расчетов эксплуатационных запасов можно увеличить, применяя для этого методы моделирования, где сложность естественных условий можно учесть более детально. Моделирование обычно осуществляется при сложных гидрогеологических условиях, при простых условиях расчеты производят по аналитическим формулам.

Гидравлический метод оценки эксплуатационных запасов подземных вод основан на непосредственном использовании данных откачек из скважин. Расчет водоотбора этим методом сводится к экстраполяции по кривым дебита графикам зависимости дебита от понижения или по эмпирическим графикам зависимости понижения от времени, полученным по данным откачек.

Достоинство этого метода в том, что при расчетах не требуется определения расчетных гидрогеологических параметров горизонта. Для расчетов используются фиксированные дебиты и понижения уровней воды при откачках, которые обобщенно указывают на фильтрационные свойства горизонта, дополнительные сопротивления движению воды в скважине и при — скважинной зоне и др. Используется гидравлический метод при оценке эксплуатационных запасов подземных вод при сложных гидрогеологических условиях, т.е. когда сложно выбрать расчетную фильтрационную схему и трудно рассчитать параметры горизонта.

Недостатки этого метода:

- не оценивается обеспеченность восполнения эксплуатационных запасов подземных вод;
- ограниченность пределов экстраполяции (при росте воронки при эксплуатации возможно изменение граничных условий).

При совместном применении гидравлического метода с гидродинамическим и балансовым появляется возможность подсчитать обеспеченность эксплуатационных запасов.

Балансовый метод оценки эксплуатационных запасов заключается в составлении балансового уравнения подземных вод для зон действия водозаборного сооружения. При составлении балансового уравнения принимается, что дебит формируется за счет части естественных запасов, перехвата естественных ресурсов, поступления из дополнительных источников питания и т.п.

Балансовый метод используется обычно для оценки общих эксплуатационных возможностей отбора подземных вод и оценивает среднюю величину снижения уровней подземных вод на участке эксплуатации. К недостатку метода можно отнести невозможность определения уровня в конкретных скважинах водозабора.

Метод гидрогеологических аналогий заключается в переносе данных с более изученных участков на менее изученные. Для этого необходимо условие сходности гидрогеологических характеристик, условий питания, граничных условий изучаемого участка и участка-аналога.

Аналогия бывает полной и частичной.

При полной аналогии все основные гидрогеологические характеристики и факторы должны быть подсчитаны, при частичной – лишь отдельные из них.

Наиболее ценной информацией при этом методе могут служить данные об условиях эксплуатации подземных вод в пределах участка-аналога.

Первоначальным этапом оценки эксплуатационных запасов подземных вод является анализ природной гидрогеологической обстановки и предварительное составление схемы формирования эксплуатационных запасов и выбора метода их подсчета.

К особенностям геолого-гидрогеологической и общей водохозяйственной обстановки можно отнести:

- закономерности геологического строения площади;
- условия залегания водоносных горизонтов и разделяющих их слабопроницаемых пластов;
- источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод;
- гидрогеологические параметры пластов и закономерности их изменения в плане и разрезе;
- закономерности изменения качества подземных вод;
- наличие поверхностных водотоков и водоемов и изменение их режима.

Выбор метода оценки эксплуатационных запасов осуществляется исходя из следующего:

- гидродинамические методы, как основные, должны использоваться при возможности представления гидрогеологической обстановки в виде расчетной фильтрационной схемы, в случае выявления источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод, получения пара-

метров их количественной оценки, установления границ области фильтрации и характеристик качества подземных вод;

- аналитические методы здесь применяются в простых гидрогеологических условиях, методы математического моделирования – при сложных условиях (неоднородность пород, сложная конфигурация границ, изменяющиеся во времени источники формирования и т.п.);

- гидравлические методы применимы в сложных гидрогеологических условиях, при невыясненных источниках формирования эксплуатационных запасов и невозможности схематизации гидрогеологической обстановки;

- балансовые методы применяются при оценке эксплуатационных запасов подземных вод отдельных замкнутых структур и конусов выноса, в пределах которых происходит и питание и разгрузка подземных вод;

- методы аналогии используются в любых гидрогеологических условиях, предпочтительнее при наличии данных по эксплуатации водозабора-аналога.

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод гидродинамическим методом сводится к расчету понижения уровней воды в скважинах водозабора при заданном дебите скважин и с учетом принятых начальных и граничных условий и параметрах водоносного горизонта в пределах рассматриваемой области фильтрации.

Эксплуатационные запасы могут рассчитываться на неограниченное время (установившийся режим) или на определенный срок амортизации (неустановившийся режим). Расчет водозабора ведется с учетом взаимодействия скважин в водозаборе.

Оценка эксплуатационных запасов гидродинамическим методом осуществляется в следующей последовательности:

- 1) устанавливаются природные гидрогеологические условия – закономерности геологического строения, условия залегания и распространения водоносных горизонтов и водоупоров, гидрогеологические параметры и закономерности их изменения в плане и разрезе;

- 2) выявляются основные источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод;

- 3) составляется природная гидрогеологическая схема, при этом учитывается строение области фильтрации, ее условия на границах рассматриваемой территории, закономерности изменения фильтрационных и емкостных параметров водоносных и слабопроницаемых толщ; здесь берется во внимание структура области фильтрации в вертикальном разрезе (один или несколько водоносных горизонтов), геометрические очертания границ области фильтрации в плане, связанные с изменением литологического состава, выклиниванием водоносных горизонтов, тектоническими нарушениями и т.д.; определяются условия на границах водоносного го-

ризонта (непроницаемые границы, границы с постоянным или переменным уровнем или расходом);

4) составляется расчетная схема оценки эксплуатационных запасов подземных вод; расчетная схема составляется на основании природной гидрогеологической схемы;

5) выбирается метод расчета (аналитический или математическое моделирование); при аналитическом методе выбираются на основании расчетной схемы расчетные уравнения; аналитические методы оценки эксплуатационных запасов применяются при относительно простых гидрогеологических условиях и обеспечивают вполне достаточную точность (такими условиями характеризуются глубокие водоносные горизонты в артезианских бассейнах, участки речных долин с активной взаимосвязью подземных и поверхностных вод, месторождения подземных вод в песчаных массивах и т.д.);

6) осуществляется расчет водозабора и результаты расчета сравниваются с доступными значениями; исходя из требуемой производительности водозабора определяется общее количество водозаборных скважин, схема их размещения, расстояние между ними с учетом граничных условий; устанавливается расчетный срок эксплуатации и допустимое понижение; применительно к выбранной схеме водозаборного сооружения приводится расчет величины понижения уровня, которая сравнивается с допустимой; если расчетное понижение не превосходит допустимого, эксплуатационные запасы могут считаться обеспеченными; целесообразно провести также расчет для определения максимально возможного дебита при заданном допустимом понижении.

Обычно рассматривается работа водозабора, состоящего из нескольких взаимодействующих скважин, или как простейший тип водозабора, одиночная водозаборная скважина. Расчет водозаборного сооружения скважинного типа за редким исключением осуществляется при заданном дебите эксплуатации.

Основной расчетной формулой понижения уровня воды в одиночной скважине для напорных пластов является:

$$S = \frac{Q}{4\pi km} \cdot R_c; \quad (7.25)$$

для безнапорных вод

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{2\pi k} R_c}, \quad (7.26)$$

где S — понижение при эксплуатации;

Q — эксплуатационный дебит (эксплуатационные запасы);

K_m – водопроводимость пласта;

R_c – фильтрационное (гидравлическое) сопротивление, определяемое в соответствии с принятой расчетной схемой;

K – коэффициент фильтрации;

H – мощность безнапорного водоносного горизонта.

Расчет понижения уровня воды в скважине, расположенной в пределах водозабора, в условиях взаимодействия согласно методу суперпозиции рассчитывается по формуле

$$S = S_0 + \sum_{i=1}^n \Delta S_i, \quad (7.27)$$

где S_0 – понижение уровня воды в скважине при её работе как одиночной (без взаимодействия);

$\sum_{i=1}^n \Delta S_i$ – сумма понижений уровня воды (срезок уровня), вызванных

работой взаимодействующих скважин.

При расчете эксплуатационных запасов подземных вод гидродинамическим методом природные гидрогеологические условия схематизируются и представляются в виде расчетной схемы. При этом, чем точнее схематизация основных факторов, определяющих закономерности формирования эксплуатационных запасов подземных вод, тем точнее и расчет самих эксплуатационных запасов.

При составлении расчетной фильтрационной схемы схематизации подвергаются:

- гидрогеологический разрез области фильтрации;
- изменчивость фильтрационных и емкостных параметров водовмещающих пород по площади и в разрезе;
- геометрические очертания области фильтрации;
- начальные и граничные условия;
- структура потока подземных вод;
- режим движения подземных вод;
- система расположения водозаборных сооружений и режим их эксплуатации.

Схематизация гидрогеологического разреза области фильтрации сводится к объединению водоносных горизонтов и слабопроницаемых слоев к одно-, двух- или многослойным пластам. Для схематизации разреза необходимо выделить водоносные горизонты и слабопроницаемые пласты, оказывающие влияние на формирование эксплуатационных запасов и режим эксплуатации водозабора.

Схематизация изменчивости гидрогеологических параметров водовмещающих пород по площади зависит от типа неоднородности пласта (упорядоченная или хаотическая неоднородность).

В случае упорядоченной неоднородности, связанной с наличием литолого-фациальных границ или пликативных и разрывных нарушений, осуществляется выделение зон с относительно однородными параметрами. При этом неоднородное поле сводится к кусочно-однородному, что достигается построением карты водопроницаемости.

Карты водопроницаемости строятся по результатам опытных работ и увязкой с литолого-фациальными и структурно-тектоническими факторами.

Построение карт водопроницаемости водоносных горизонтов, сложенных рыхлообломочными отложениями, осуществляется с учетом следующих факторов:

- изменчивость литолого-фациального и гранулометрического состава водовмещающих отложений;
- эффективная мощность водоносного горизонта.
- карта составляется в следующей последовательности:
- выделяются литолого-фациальные разности водовмещающих пород;
- определяются границы распространения выделенных разностей;
- наносятся на карту изолинии мощностей водоносных горизонтов;
- определяется по данным кустовых откачек коэффициент фильтрации для каждой литолого-фациальной разности;
- умножением коэффициента фильтрации на мощность находится водопроницаемость.

При определении водопроницаемости пользуются графиками зависимости коэффициента фильтрации от гранулометрического состава. Для получения более достоверного материала, но недостаточного количества кустовых откачек, строят график связи значений коэффициентов водопроницаемости, определенных по данным кустовой откачки (по наблюдательным скважинам), со значениями, рассчитанными по центральным скважинам тех же опытных кустов. Результаты построения такого графика идут для внесения корректив в параметры, полученные по данным одиночных откачек.

При построении карт водопроницаемости трещинно-карстовых водоносных горизонтов анализируются закономерности изменения фильтрационных свойств, на которые влияют следующие факторы:

- уменьшение трещиноватости от долин к водоразделам;
- уменьшение трещиноватости с глубиной;
- увеличение трещиноватости в осевых частях поднятий;
- изменение трещиноватости при изменении состава пород;
- увеличение закарстованности на неперекрываемых водоупорами участках.

Анализ указанных факторов, влияющих на величину водопроницаемости, позволяет строить вспомогательные графики (например: зависимости водопроницаемости от высоты точки над базисом эрозии, или мощностью перекрывающих отложений и т.п.).

При хаотической неоднородности оценка эксплуатационных запасов подземных вод проводится применительно к расчетной схеме, получаемой приведением реального неоднородного пласта к однородному, с использованием эффективных значений гидрогеологических параметров, распространяемых на всю область эксплуатационного возмущения.

Эффективными считаются значения водопроницаемости и пьезопроводности такого условно однородного пласта, в котором расчетные величины понижений в зоне квазистационарного режима на определенные моменты времени близки к понижениям в реальном неоднородном пласте. Эффективные значения параметров рассчитываются по данным длительных кустовых откачек, при которых обобщенно учитывается вся сложность распределения элементов неоднородности.

Схематизация изменчивости параметров в разрезе осуществляется приведением реального неоднородного пласта к условно однородному, суммарная водопроницаемость такого пласта определяется:

$$k_m = \sum_{i=1}^n (k_m)_i, \quad (7.28)$$

где $(K_m)_i$ — водопроницаемость i -го ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) слоя в оцениваемом водоносном горизонте.

При схематизации геометрических очертаний области фильтрации учитываются лишь границы, влияющие на работу водозаборов, в связи с чем необходима прогнозная оценка влияния реальных границ. Это влияние зависит от расстояния от водозабора до границы, продолжительности расчетного периода, размеров водоотбора и пьезопроводности (уровнепроводности) водоносного пласта.

При учете границ их реальные криволинейные очертания условно изменяются прямолинейными или круговыми, а сами границы принимаются за вертикальные плоскости.

Для установления гидрогеологических условий на основании анализа комплекса природных факторов выделяются граничные условия в плане и разрезе.

Граничные условия в плане определяют особенности питания подземных вод через боковые границы рассматриваемой области. Здесь выделяются:

- граница водоносного пласта с постоянным напором $H = \text{const}$ (рис. 7.5), где отмечается интенсивное питание подземных вод за счет инфильтрации поверхностных;

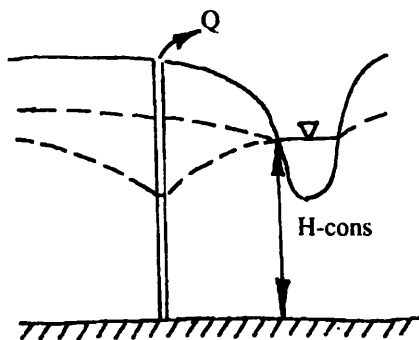


Рис. 7.5. Граница с постоянным напором

- граница водоносного пласта с постоянным расходом $Q = \text{const}$ (рис. 7.6, 7.7).

Наиболее часто встречающийся случай, когда питание со стороны границы отсутствует $Q = 0$, при этом депрессионная кривая, дойдя до границы будет постоянно понижаться.

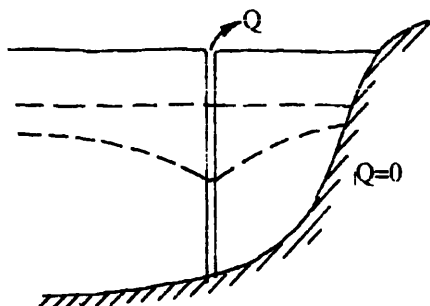


Рис. 7.6. Граница с постоянным расходом, равным нулю

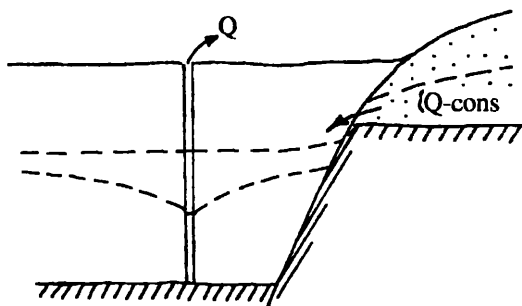


Рис. 7.7. Граница с постоянным расходом

Граничные условия в вертикальном разрезе пласта зависят от верхней поверхности водоносного горизонта. В безнапорных водах она свободная, а в напорных определяется положением подошвы перекрывающегося водоупорного пласта. Эти водоносные горизонты разделяются и по взаимосвязи подземных вод с атмосферой и соседними водоносными горизонтами. В безнапорных водоносных горизонтах питание подземных вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод непосредственно на площади их развития, а при эксплуатации происходит осушение пласта. Условия питания напорных вод более сложны и обусловлены возможностью перетекания подземных вод из выше- и нижележащих водоносных горизонтов. При их эксплуатации мощность водоносного горизонта обычно остается неизменной, если уровень воды не понижается ниже кровли.

Перечисленные границы в случае достижения их депрессионными воронками оказывают большое влияние на условия эксплуатации водоносных горизонтов.

При схематизации природных условий для оценки эксплуатационных запасов подземных вод необходимо учитывать положение водозаборов относительно границ пласта, влияющих на работу водозабора.

По степени взаимоотношения водозабора, депрессионных воронок и границ пласта выделяют следующие основные типовые гидродинамические схемы.

Неограниченный водоносный пласт (рис. 7.8). Его природные границы находятся за пределами влияния водозабора. Депрессионная воронка не достигает этой границы за период работы водозабора.

Полуограниченный водоносный пласт (рис. 7.9). На режим работы водозабора оказывает влияние одна из границ.

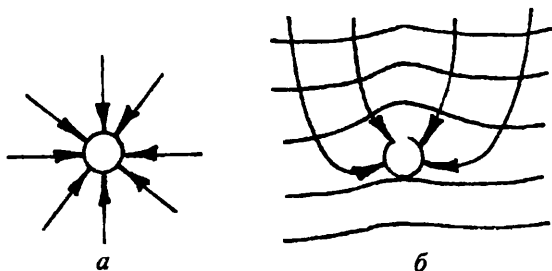


Рис. 7.8. Неограниченный водоносный пласт:
а — в грунтовом бассейне; б — в грунтовом потоке

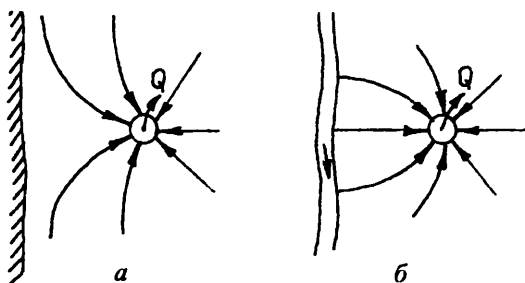


Рис. 7.9. Полуограниченные водоносные горизонты:
a – $Q = \text{const}$; *б* – $H = \text{const}$

Водоносный пласт – полоса (рис. 7.10). На работу водозабора влияют параллельные границы, расстояние между которыми меньше величины депрессионной воронки.

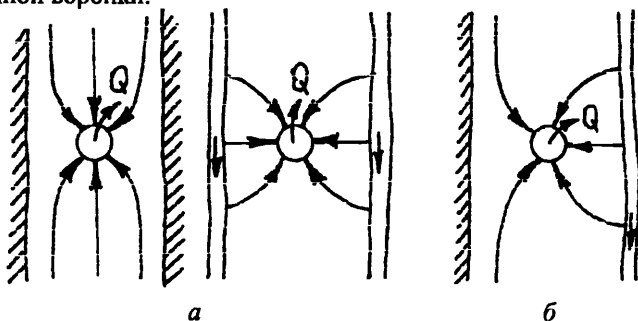


Рис. 7.10. Водоносный пласт-полоса:
a – с однородными границами; *б* – с разнородными страницами

Водоносный пласт, ограниченный круговым контуром (рис. 7.11). Замкнутые границы оказывают влияние на работу водозабора повсеместно.

Большое разнообразие и сложность природных гидрогеологических условий создает определенные трудности в схематизации этих условий и выборе расчетной схемы.

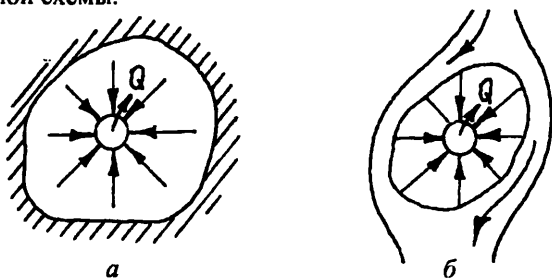


Рис. 7.11. Водоносный пласт ограниченный круговым контуром: *a* – $Q = \text{const}$; *б* – $H = \text{const}$

Водозаборы подземных вод обычно состоят из нескольких скважин и при эксплуатации взаимодействуют друг с другом. Это взаимодействие сказывается на снижении уровня воды в каждой из скважин, так как понижение уровня воды в скважине (S) складывается из понижения при работе ее как одиночной (S_0) и суммы понижений, вызванных работой других скважин водозабора (ΔS) (срезки уровней).

$$S = S_0 + (\Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_n). \quad (7.29)$$

Расчетные формулы, применяемые при гидродинамическом методе (расчет понижения уровня воды (S) на конец срока эксплуатации), учитывают баланс потока подземных вод, сработку и возобновление запасов при эксплуатации, время эксплуатации и т.д. Расчетные формулы приводятся для различных гидродинамических схем и вариантов граничных условий. Выводы расчетных формул освещены в литературных источниках.

Значения символов и показателей в расчетных формулах:

S – расчетное понижение уровня в скважине;

Q – дебит скважины, для которой рассчитывается понижение;

$Q_1, \dots, Q_n$ – дебиты скважин, находящихся на расстоянии ..., от скважины, в которой определяется понижение;

$Q_{\text{сум}}$ – суммарный дебит всех взаимодействующих скважин водозабора;

H – мощность безнапорного водоносного горизонта;

m – мощность напорного водоносного пласта;

R_n – приведенный радиус влияния;

r_0 – радиус фильтра скважины, в которой определяется понижение;

K – коэффициент фильтрации пласта;

a – коэффициента пьезопроводности для напорных вод;

a_y – коэффициент уравненипроводности для безнапорных вод;

K_m – водопроводимость пласта;

t – время эксплуатации или откачки;

$r_1, \dots, r_n$ – расстояние от скважины, в которой рассчитывается понижение до влияющих на неё скважин

ρ – расстояние от зеркально отображенных скважин до скважины, в которой определяется понижение;

l – расстояние от скважины до границы пласта;

i – ширина междуречья;

λ – расстояние между скважинами в ряду водозабора;

B – ширина пласта-полосы;

R_k – радиус круга, приравненного по площади к водоносному пласту, ограниченному круговым контуром.

Неограниченный водоносный пласт. Депрессионная воронка, возникающая при работе водозабора, не распространяется до границ пласта (рис. 7.12).

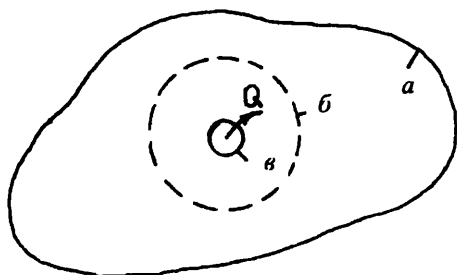


Рис. 7.12. Неограниченный водоносный пласт:
а – граница пласта, б – депрессионная воронка; в – водозабор

Расчет понижения уровня в скважинах водозабора осуществляется по следующим формулам:

для безнапорных вод

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{1}{\pi k} [Q_{\text{сум}} \ln R_n - (Q \ln r_0 + Q_1 \ln r_1 + \dots + Q_n \ln r_n)]} \quad (7.30)$$

для напорных вод

$$S = \frac{1}{2\pi km} [Q_{\text{сум}} \ln R_n - (Q \ln r_0 + Q_1 \ln r_1 + \dots + Q_n \ln r_n)] \quad (7.31)$$

Полуограниченный водоносный пласт. Депрессионная воронка достигает одну из границ пласта (рис. 7.13) при этом на границе меняется или напор, или расход. Если водоносный пласт ограничен поверхностным водоемом или водотоком, то напор на этой границе не меняется при эксплуатации. Это граница с постоянным напором $H = \text{const}$.

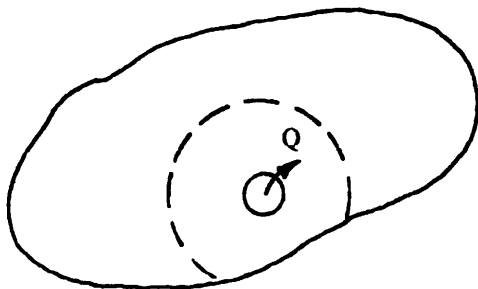


Рис. 7.13. Полуограниченный водоносный пласт

Если границей являются водоупорные породы, то приток с её стороны постоянный и, зачастую, полностью отсутствует $Q = \text{const}$.

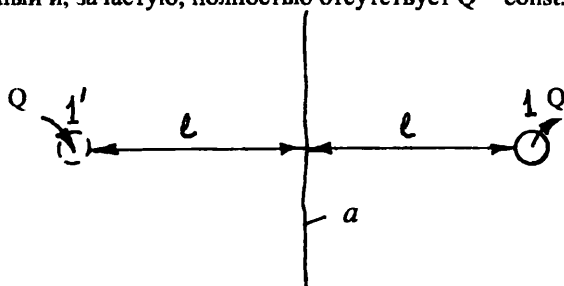


Рис. 7.14. Схема к расчету «методом зеркальных отображений».

Скважины: 1 – реальная; 1' – зеркально отображенная, воображаемая; а – границы пласти

Границы с постоянным напором. Обычно это водозаборы, заложенные в речных долинах. Расположение скважин, зачастую, в ряд, параллельно урезу реки (инфильтрационный водозабор).

Расчетное уравнение для группы скважин в безнапорных водах:

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{1}{\pi k} \left(Q \ln \frac{2\ell}{r_0} + Q_1 \ln \frac{\rho_1}{r_1} + Q_2 \ln \frac{\rho_2}{r_2} + \dots + Q_n \ln \frac{\rho_n}{r_n} \right)}. \quad (7.32)$$

Понижение уровня в любой скважине водозабора, работающей в условиях напорного пласта, равно:

$$S = \frac{1}{2\pi km} (Q \ln \frac{2\ell}{r_0} + Q_1 \ln \frac{\rho_1}{r_1} + Q_2 \ln \frac{\rho_2}{r_2} + \dots + Q_n \ln \frac{\rho_n}{r_n}). \quad (7.33)$$

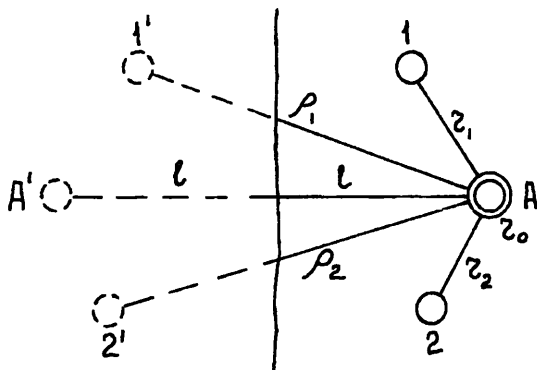


Рис. 7.15. Расчетная схема расположения скважин

Наличие поверхностного водоема, гидравлически связанного с водоносным горизонтом ограничивает развитие депрессии, в связи с чем, понижение воды в скважине быстро стабилизируется. Расчеты понижений в этих условиях производятся по формулам установившегося движения.

Граница с постоянным расходом. Наиболее часто встречающийся случай, когда расход на границе равен нулю. При этом применяются следующие расчетные формулы:

для безнапорных вод

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{1}{\pi k} [2Q_{\text{сум}} \ln R_n - (Q \ln 2r_0 \ell + Q_1 \ln r_1 \rho_1 + \dots + Q_n \ln r_n \rho_n)]}; \quad (7.34)$$

для напорных вод

$$S = \frac{1}{2\pi km} [2Q_{\text{сум}} \ln R_n - (Q \ln 2r_0 \ell + Q_1 \ln r_1 \rho_1 + \dots + Q_n \ln r_n \rho_n)] \quad (7.35)$$

Водоносный пласт-полоса. Водоносный пласт-полоса – это пласт, ограниченный в плане параллельными границами, находящимися в зоне влияния водозабора (рис. 7.16).

Границы могут быть с постоянным расходом, постоянным напором, а также могут быть разнородные границы.

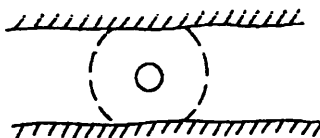


Рис. 7.16. Водоносный пласт-полоса

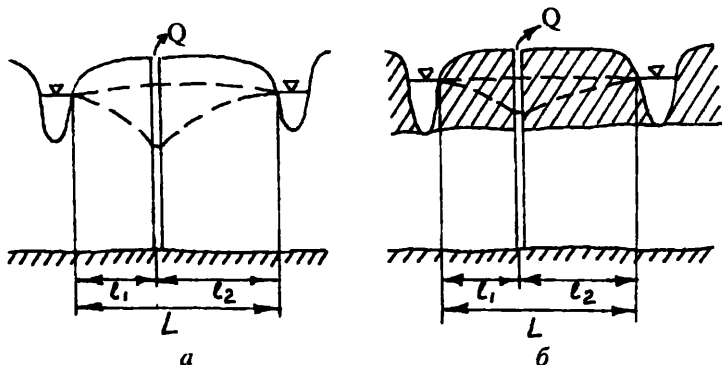


Рис. 7.17. Пласт-полоса с границами с постоянным напором:

а – безнапорные воды; б – напорные воды

Пласт-полоса с границами с постоянным напором. Примером таких гидрогеологических условий могут быть относительно неширокие междуречья, сложенные водопроницаемыми породами (рис. 7.17). Расчет понижения здесь осуществляется по формулам установившегося движения, т.к. откачка в скважинах сопровождается быстрой стабилизацией уровня.

Для водозабора, состоящего из нескольких скважин, расположенных в ряду с равными расстояниями и одинаковыми дебитами, параллельном долинам рек, понижение в скважинах водозабора будет:

для безнапорных вод:

$$S = H - H^2 - \frac{Q}{\pi k} \left(\ln \frac{\lambda}{2\pi r_0} + \frac{2\pi \ell_1 \ell_2}{2\lambda} \right); \quad (7.36)$$

для напорных вод

$$S = \frac{Q}{2\pi km} \left(\ln \frac{\lambda}{2\pi r_0} + \frac{2\pi \ell_1 \ell_2}{\lambda L} \right). \quad (7.37)$$

Пласт-полоса с постоянным расходом. Такими гидрогеологическими структурами являются погребенные долины.

Если водозабор расположен в виде продольного ряда посередине полосы, то скважины будут сбрасывать естественные запасы в замкнутом блоке, ограниченном непосредственными границами и линиями, проходящими через середины расстояний между скважинами (предполагаемые «тонкие непроницаемые пласты») (рис. 7.18).

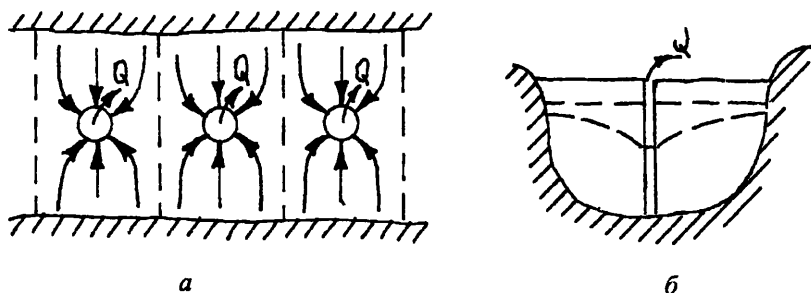


Рис. 7.18. Пласт-полоса с границами с постоянным расходом: а – в плане; б – в разрезе

При расположении скважин водозабора в виде поперечного ряда (рис. 7.18), каждая из скважин действует как самостоятельная, работающая без взаимодействия в структуре, ограниченной линиями, проведенными через середины расстояний между скважинами (предполагаемые «тонкие непроницаемые пластины», о которых говорилось выше). Для такого расположения скважин расчетные формулы сводятся к определению понижения в отдельной скважине водозабора:

для напорных вод

$$S = \frac{Q}{2\pi km} \left(\ln \frac{\lambda}{2\pi r_0} + \frac{3,55\sqrt{at}}{\lambda} \right); \quad (7.38)$$

для безнапорных вод

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k} \left(\ln \frac{\lambda}{2\pi k r_0} + \frac{3,55\sqrt{a_y t}}{\lambda} \right)}. \quad (7.39)$$

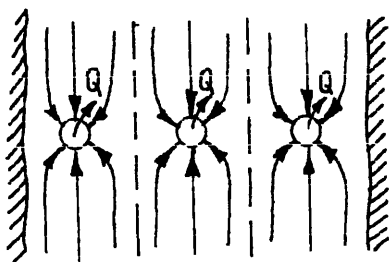


Рис. 7.19. Расположение скважины в виде поперечного ряда

Пласт-полоса с разнородными границами. Обычно одна из границ $Q = 0$, а другая $H = \text{const}$, что характерно для подземных вод в речных террасах, сложенных песчаными отложениями и вложенными в водоупорные породы. Граница $H = \text{const}$ оказывает активное влияние на работу водозабора и через непродолжительное время движения практически стабилизируется, что предполагает проведение расчетов понижения по формулам установившегося движения. Расчетные формулы:

для напорных вод

$$S = \frac{Q}{2\pi km} \ln \left[\frac{1,33B}{r_0} \text{ctg} \frac{\pi(B - \ell)}{2B} \right]; \quad (7.40)$$

для безнапорных вод

$$S = H - \sqrt{H_2 - \frac{Q}{\pi k} \ln \left[\frac{1,33B}{r_0} \operatorname{ctg} \frac{\pi(B-l)}{2B} \right]}. \quad (7.41)$$

Водоносный пласт, ограниченный круговым контуром. При незначительных в плане размерах пласта на формирование депрессионной воронки, с течением времени эксплуатации, будут влиять все его границы. Реальный контур пласта заменяется на круговой контур с радиусом R_k , который определяется исходя из величины площади пласта F :

$$R_k = \sqrt{\frac{F}{A}} = 0,565\sqrt{F}. \quad (7.42)$$

При границе с постоянным напором, т.е. в центре участка, ограниченного круговым контуром питания, понижение уровня воды устанавливается через короткое время. Понижение определяется по формулам:

для напорных вод

$$S = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{R_k}{r_0}; \quad (7.43)$$

для безнапорных вод

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{R_k}{r_0}}. \quad (7.44)$$

В случае, если круговыми границами являются водоупорные отложения, движение подземных вод имеет выраженный неустановившийся характер. Для водозабора, расположенного в центре мулды, понижение определяется:

для напорных вод

$$S = \frac{Q}{2\pi km} \left[\ln \frac{R_k}{r_0} + \frac{2at}{R_k^2} - \frac{3}{4} \right]; \quad (7.45)$$

для безнапорных вод

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{R_k}{r_0} + \frac{2a_y t}{R_k^2} - \frac{3}{4}}. \quad (7.46)$$

Применение гидравлического метода оценки эксплуатационных запасов подземных вод обуславливается сложными гидрогеологическими условиями, не позволяющими построить достоверную фильтрационную схему для гидродинамического расчета. В этом случае производится опытное опробование водоносного горизонта для установления характера взаимосвязи между дебитами водозаборных скважин и понижениями уровней в них. Подсчет эксплуатационных запасов месторождения может быть выполнен только для единственной системы расположения раз-

дочно-эксплуатационных скважин, что позволяет с одной стороны учесть индивидуальные особенности каждой скважины, а с другой – обуславливает определённую консервативность гидравлического расчета.

Одиночные водозаборные скважины рассчитываются следующим образом:

$$S = S_0 + \Delta S_0(t), \quad (7.47)$$

где S – расчетное понижение уровня воды в скважине при проектном (эксплуатационном дебите Q , на конечный срок эксплуатации водозабора);

S_0 – понижение уровня воды в расчетной скважине, определяемое по кривой зависимости дебита от понижения для заданного проектного расхода на момент окончания опытной откачки;

$S_0(t)$ – дополнительное понижение уровня в скважине, работающей с эксплуатационным дебитом за время от окончания опытной откачки до конца срока, на который рассчитываются эксплуатационные запасы.

Метод экстраполяции кривых дебита заключается в установлении зависимости между дебитом и понижением, составлении уравнения кривой дебита и построении графика $Q = f(S)$. Определив эту зависимость, можно путем экстраполяции прогнозировать дебит скважины применительно к новым заданным условиям эксплуатации при понижении, больше чем достигнуто при откачке. Этот дебит и будет представлять собой эксплуатационные запасы. Экстраполяция осуществляется либо аналитическим, либо графическим методом.

Экстраполяция кривых дебита грунтовых вод ведется исходя из уравнения Дюпюи для произвольного расхода Q при понижении S :

$$Q = 1,36k \frac{(2H - S)S}{\lg R/r} \quad (7.48)$$

или для искомого расхода Q_x той же скважины при понижении S_x

$$Q_x = 1,36k \frac{(2H - S_x)S_x}{\lg R/r}. \quad (7.49)$$

Разделив уравнения (7.48) на уравнение (7.49), получим:

$$\frac{Q}{Q_x} = \frac{(2H - S)S}{(2H - S_x)S_x}; \quad Q_x = Q \frac{(2H - S_x)S_x}{(2H - S)S}, \quad (7.50)$$

где Q_x – искомый дебит при понижении S ;

S_x – проектное понижение;

Q и S – дебит и понижение уровня, полученные при откачке;

H – мощность водоносного горизонта.

Рассмотрим другой пример. Согласно уравнению Дюпюи (7.48) при раскрытии скобок получаем

$$Q = 1,36k \frac{2H}{\lg R/r} S - 1,36k \frac{1}{\lg R/r} S^2. \quad (7.51)$$

Обозначив постоянные величины через

$$1,36k \frac{2H}{\lg R/r} = A \text{ и } 1,36k \frac{1}{\lg R/r} = B, \quad (7.52)$$

получим из (7.51) уравнение кривой дебита

$$Q = AS - BS^2, \quad (7.53)$$

по которому можно определить исходный расход

$$Q_x = AS_x - BS_x^2. \quad (7.54)$$

Параметры A и B находятся по данным откачек на два понижения, путем решения системы двух уравнений.

При экстраполяции кривых дебита напорных вод, которые могут иметь прямолинейный, параболический, логарифмический или степенной характер, применяются уравнения Дюпюи, Каллера, Альтовского, Смрекера и др.

Уравнение Дюпюи. Расход скважины, заложенный в напорном водоносном горизонте, выражается уравнением

$$Q = 2,73k \frac{mS}{\lg R/r}. \quad (7.55)$$

Дебит той же скважины Q_x при понижении S_x определяется

$$Q_x = 2,73k \frac{mS_x}{\lg R/r}. \quad (7.56)$$

Разделив уравнение (7.55) на уравнение (7.56), получим:

$$\frac{Q}{Q_x} = \frac{S}{S_x}, \quad Q_x = \frac{Q}{S} \cdot S_x, \quad Q_x = qS_x, \quad (7.57)$$

где q — удельный дебит скважины.

Полученное уравнение представляет собой прямую, проходящую через начало координат (рис. 7.20). Экстраполяция может вестись по уравнению Дюпюи только в том случае, если зависимость Q от S прямолинейна, и прямая проходит через начало координат. Расчет дебита допускается производить при $S_x \leq (1,5 \div 1,75) S_{\max}$, где $S_{\max}$ — максимальное понижение, достигнутое при опытной откачке.

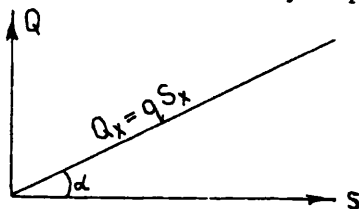


Рис. 7.20. График для экстраполяции по уравнению Дюпюи

Уравнение Келлера. Выражает параболическую зависимость между дебитом и понижением

$$S = aQ + bQ^2, \quad (7.58)$$

где Q – дебит скважины при понижении S ;

a и b – параметры, определяемые по данным откачки.

Для приведения (7.58) в прямолинейный вид разделим его на Q и получим

$$\frac{S}{Q} = S_0 = a + bQ, \quad (7.59)$$

где S_0 – удельное понижение (понижение на единицу расхода).

Уравнение Келлера по полученным зависимостям (7.58), (7.59) можно показать графически (рис. 7.21)

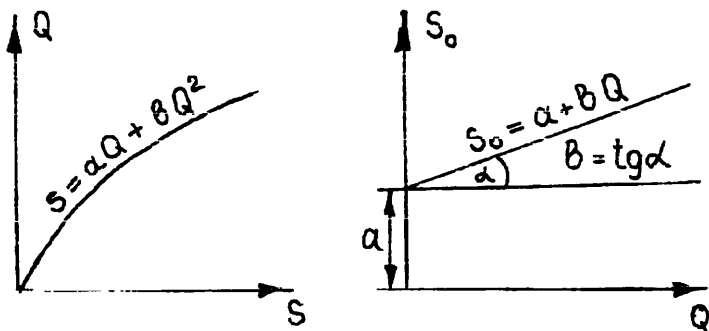


Рис. 7.21. Графики для экстраполяции по уравнению Келлера

Экстраполяцию дебита по уравнению Келлера

$$S = aQ_x + bQ_x^2 \quad (7.60)$$

можно вести только в том случае, если зависимость удельного понижения от дебита выражается прямой линией. Предел экстраполяции:

$$S_x \leq (1,75 \div 2,0) S_{\max}.$$

Уравнение Альтовского. Выражает зависимость дебита от понижения логарифмической функцией

$$Q = a + b \lg S. \quad (7.61)$$

Параметры a и b вычисляются по данным откачек как минимум по двум дебитам:

$$a = Q_i - b \lg S_i. \quad (7.63)$$

Графически эта зависимость показана на рис. 7.22, а, приведенная к прямолинейному виду – на рис. 7.22, б.

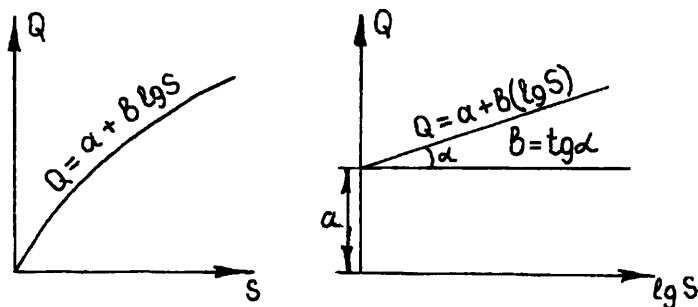


Рис. 7.22. Графики для экстраполяции по уравнению Альтовского

Экстраполяцию дебита по уравнению Альтовского

$$Q = a + b \lg S_x \quad (7.64)$$

можно осуществлять, когда зависимость дебита от понижения в полиграфическом масштабе (рис. 7.22, б) выразится прямой линией.

Предел экстраполяции $S_x \leq (2,0 \div 3,0) S_{\max}$.

Уравнение Спрекера описывает степенную зависимость между дебитом и понижением (рис. 7.23, а)

$$Q = n^m \sqrt{S} \quad (7.65)$$

где m и n – параметры, определяемые по данным откачки.

$$m = \frac{\lg \frac{S_{i+1}}{S_i}}{\lg \frac{Q_{i+1}}{Q_i}}, \quad (7.66)$$

$$\lg n = \lg Q_i - \frac{1}{m} \lg S_i. \quad (7.67)$$

Логарифмирование выражения (7.65) дает следующий результат:

$$\lg Q = \lg n + \frac{1}{m} \lg S. \quad (7.68)$$

Это уравнение представляет собой прямую, построенную на осях координат, в логарифмическом масштабе (рис. 7.23, б).

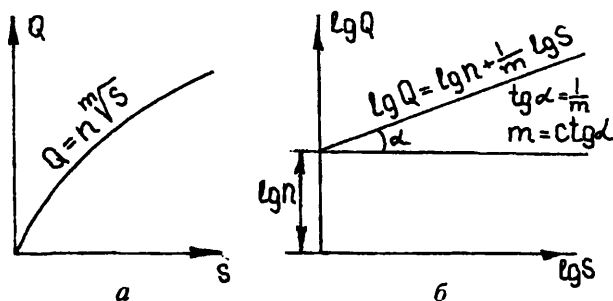


Рис. 7.23. Графики для экстраполяции по уравнению Смеркера

Экстраполяция дебита по уравнению Смеркера

$$Q_x = n^m \sqrt{S_x} \quad (7.69)$$

ведётся в том случае, если зависимость дебита от понижения на графике с логарифмическими масштабами осей (см. рис. 7.23, б) выразится прямой линией.

Пределы экстраполяции $S_x \leq (1,5 \div 1,75) S_{\max}$

Для правильного использования результатов откачек для расчета эксплуатационных запасов по кривым дебита необходимо придерживаться следующей последовательности:

1) по опытным данным строится график зависимости дебита от понижения $Q = f(S)$; если график представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат (рис. 7.20), то эксплуатационный дебит определяется по формуле (7.57);

2) при получении графика $Q = f(S)$, отличного от прямой линии, строят графики функций $S_0 = f(Q)$; $\lg S = f(Q)$; $\lg S = f(\lg Q)$; при получении какого-либо из этих графиков в виде прямой, применяют для расчета соответствующие расчетные формулы (7.60), (7.64), (7.69).

Методом взаимодействующих скважин эксплуатационные запасы гидродинамическим методом определяются как суммарный дебит нескольких взаимодействующих скважин.

В основу расчета кладутся результаты опытных откачек и наблюдаемые срезки уровня в соседних скважинах. Откачки необходимо вести до стабилизации уровня не только в опытных скважинах, но и в выработках, расположенных в зоне влияния всей откачки.

Если в скважине 1 производить откачку с понижением S_1 (рис. 7.24, а), то в скважине 2, находящейся во взаимодействии с первой, происходит срезка уровня t_2^1 .

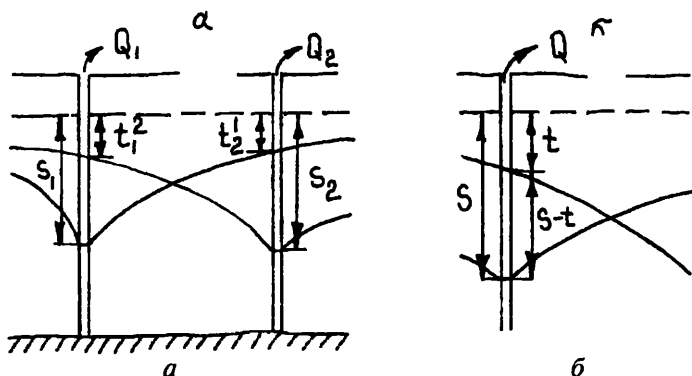


Рис. 7.24. Схема расположения взаимодействующих скважин

Аналогично при откачке из скважины 2 с понижением S_2 в скважине 1 наблюдается срезка уровня t_1^2 (рис. 7.24, б). При одновременной откачке из двух скважин (рис. 7.25, а) дебит каждой скважины понизится в результате взаимодействия по сравнению с дебитом из каждой скважины при откачке порознь. Это снижение учитывается коэффициентом

$$\alpha = \frac{Q_{ББ} - Q_{ББ}}{Q_1}, \quad (7.70)$$

где α — коэффициент снижения дебита;

Q^1 — дебит скважины без взаимодействия

$Q^1 = q S$;

Q^* — дебит той же скважины, при условии взаимодействия её с соседней.

При расчете взаимодействующих скважин понижение уровня должно вычисляться не от статического, а от уменьшенного на величину срезки ($S - t$) (рис. 7.25, б).

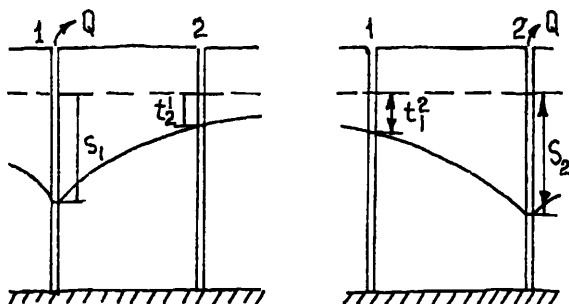


Рис. 7.25. Схема к расчёту взаимодействующих скважин

Отсюда дебит взаимодействующей скважины, выраженный через удельный дебит q :

$$Q^1 = g (S - t). \quad (7.71)$$

Подставим значения Q^1 и Q^2 в уравнение (7.70) и получим

$$\alpha = \frac{Q_B - Q_{BB}}{Q_{BB}} = \frac{qS + q(S - t)}{qS} = \frac{t}{S}. \quad (7.72)$$

Через коэффициент снижения дебита можно из уравнения (7.70) определить дебит взаимодействующей скважины:

$$\alpha = \frac{Q_B - Q_{BB}}{Q_{BB}}; \quad \alpha Q_B = Q_B - Q_{BB}; \quad Q_{BB} = Q_B(1 - \alpha) \quad (7.73)$$

или

$$Q_{BB} = Q_B(1 - \frac{t}{S}) = \frac{Q_B}{S}(S - t) = q(S - t). \quad (7.74)$$

Таким образом, дебит одной скважины при взаимодействии её с другой скважиной можно определить по двум формулам:

$$Q_{BB} = Q_B(1 - \alpha) \quad \text{или} \quad Q_{BB} = q(S - t). \quad (7.75)$$

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод балансовым методом заключается в определении расхода подземных вод, который может быть получен водозаборными сооружениями в пределах данного района в течение заданного срока эксплуатации за счет привлечения отдельных источников формирования.

В общем случае эксплуатационные запасы подземных вод связаны с другими видами запасов и ресурсов следующим балансовым уравнением:

$$Q_{\Sigma} = \alpha_1 \cdot Q_E + \alpha_2 \frac{V_E}{t} + \alpha_3 Q_U + \alpha_4 \frac{V_U}{t} + Q \cdot p, \quad (7.76)$$

где Q_{Σ} — эксплуатационные запасы;

V_E — естественные запасы, т.е. объем гравитационной воды в порых, трещинах, карстовых пустотах водовмещающих пород. К естественным запасам безнапорных водоносных горизонтов относится и объем гравитационной воды в водовмещающих породах в зоне колебания уровня (регулируемые запасы V_p). В напорных пластах к естественным относятся упругие запасы (V_u) — объем воды, который может быть извлечен из водоносных пластов при снижении уровня подземных вод вследствие упругих свойств воды и породы;

Q_E — естественные ресурсы, т.е. величина питания водоносного горизонта в ненарушенных эксплуатацией условиях; они равны сумме всех природных элементов баланса данного горизонта (инфильтрация атмосферных осадков, фильтрация из рек и водоемов, перетекание со смеж-

ных горизонтов и т.д.) и могут быть также определены по расходу подземного потока или по сумме расходов элементов баланса (испарение, родниковый сток, перетекание в другие горизонты, фильтрация в реки и т.д.);

$Q_{пр}$ – привлекаемые ресурсы, т.е. расход воды, поступающей в водоносный пласт при усилении питания подземных вод, вызванного эксплуатацией водозаборного сооружения (возникновение или усиление фильтрации из рек, озер, перетекание из смежных горизонтов, усиление инфильтрационного питания);

V_U – искусственные запасы, т.е. объем подземных вод в пласте, сформировавшийся в результате проведения инженерно-геологических мероприятий, обеспечивших заполнение неводонасыщенных пород;

Q_U – искусственные ресурсы, т.е. расход воды, поступающей в водоносный горизонт при фильтрации из каналов и водохранилищ, на орошаемых площадях, а также при проведении мероприятий по усилению питания подземных вод;

t – время, на которое рассчитывается эксплуатация подземных вод;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – соответственно коэффициенты использования естественных ресурсов, естественных запасов, искусственных ресурсов и искусственных запасов.

В зависимости от гидрогеологических условий и системы расположения водозаборов относительно границ пласта в формировании эксплуатационных запасов будут превалировать различные виды ресурсов и запасов подземных вод. Эксплуатационные запасы могут быть обеспечены источниками формирования или на определенный период эксплуатации, или на неограниченное время.

Эксплуатационные запасы обеспечены на неограниченное время в том случае, если они обеспечиваются естественными и искусственными ресурсами, а также привлекаемыми ресурсами, если они обеспечены на неограниченный период эксплуатации.

При использовании балансового метода баланс участка рассматривается в целом по поступлению и расходованию воды на его границах. Этот метод позволяет определить только среднее снижение уровней эксплуатируемого горизонта, а не понижение уровня воды в водозаборных скважинах.

Балансовым методом нельзя определить производительность скважин. В связи с этим балансовый метод используется главным образом в сочетании с гидродинамическим и гидравлическим методами, и это сочетание является весьма целесообразным в подавляющем большинстве случаев.

Наиболее самостоятельное значение имеет балансовый метод оценки эксплуатационных запасов подземных вод в пределах небольших ограниченных структур с большой водопроницаемостью водоносных горизонтов. В этих структурах депрессионная воронка при эксплуатации быстро рас-

пространяется на всю площадь структуры, а понижение в центре и на периферии площади отличается незначительно.

Балансовый метод используется как самостоятельный, когда проектируется использование эксплуатационных запасов путем капитирования родников.

Применим балансовый метод и при региональной оценке эксплуатационных запасов подземных вод (особенно при площадном размещении водозаборных сооружений по сетке).

7.7. Категории эксплуатационных запасов подземных вод

Основанием к категоризации эксплуатационных запасов подземных вод является степень изученности того или иного месторождения.

По этому признаку эксплуатационные запасы подземных вод подразделяются на освоенные – категории А и В, разведанные – категории В и оцененные – категории С₁ и С₂. Прогнозные ресурсы подземных вод по степени обоснованности относятся к категории Р [16, 26, 27].

Каждая категория является основой для выполнения определенных стадий проектных решений по подготовке месторождений к дальнейшему изучению и освоению.

При оценке степени освоения разведанных запасов подземных вод, составлении плана реконструкции водозабора, продлении права использования подземных вод на новый срок по данным эксплуатации предназначаются запасы А.

Запасы категории А должны удовлетворять следующим требованиям:

- должны быть подсчитаны по результатам эксплуатации при проведении эксплуатационной разведки (продолжительность наблюдений зависит от сложности гидрогеологических условий);
- дебит водозабора установлен по данным режимных наблюдений в эксплуатационных скважинах, а понижение – в эксплуатационных и наблюдательных;
- количество эксплуатационных запасов подтверждено фактическим водоотбором на действующем водозаборе;
- доказана возможность сохранения дебита водозабора на срок эксплуатации прогнозными расчетами, опирающимися на достоверную количественную оценку основных источников формирования эксплуатационных запасов;
- качество подземных вод удовлетворяет требованиям их целевого назначения, подтверждено режимом эксплуатации и уверенно прогнозируется на дальнейший срок эксплуатации;
- влияние водоотбора оцениваемого месторождения на существующие и разведанные водозаборы и поверхностные водные источники надежно установлено по опыту эксплуатации;

- влияние отбора подземных вод на окружающую природную среду оценено по результатам регулярных режимных наблюдений в степени, позволяющей установить эффективность действующих природоохранных мер, а также проектировать и осуществлять, при необходимости, дополнительные компенсирующие мероприятия.

На месторождениях 1-й и 2-й групп сложности запасы категории А подсчитываются при подтверждении возможности сохранения достаточного водоотбора и требуемого количества воды, на месторождениях же 3-й группы – при установившихся в процессе водоотбора гидродинамическом и гидрохимическом режимах.

Запасы категории В являются основанием для проектирования водозабора и оформления документов на право использования подземных вод. При этом запасы должны удовлетворять следующим требованиям:

- подсчитаны применительно к согласованным проектным схемам и конструкциям водозаборных сооружений, заданной потребности и графику водозабора;

- учтена существующая водохозяйственная обстановка, прогнозированы изменения ее, определены допустимые пределы влияния водоотбора на окружающую природную среду;

- принятые при подсчете эксплуатационных запасов подземных вод проектные дебиты скважин подтверждены результатами бурения и опытно-фильтрационных работ, таких как опытные одиночные, кустовые и групповые откачки, а в сложных гидрогеологических условиях опытно-эксплуатационные откачки и опытная эксплуатация;

- дана количественная оценка источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод применительно к принятой схеме эксплуатации и величине водоотбора;

- качество подземных вод изучено по всем показателям в соответствии с требованиями целевого назначения;

- доказано, что качество воды течение всего расчетного срока эксплуатации будет постоянным или будет изменяться в допустимых пределах;

- разработаны рекомендации по режиму эксплуатации водозабора, сооружению сети наблюдательных скважин;

- обоснованы мероприятия по созданию зон санитарной охраны;

- оценено влияние намечаемого водоотбора на период расчетного срока водопотребления на существующие и разведенные водозаборы и поверхности водных источников;

- рассмотрено возможное влияние разработки месторождения на окружающую природную среду и получены исходные данные для разработки проекта мероприятий по предотвращению или снижению уровня отрицательных экологических последствий.

Запасы категории В подсчитываются исключительно на разведанных месторождениях применительно к намеченной схеме водозабора, при этом для месторождений 1-й и 2-й групп сложности расчет осуществляется по прогнозной производительности намеченного водозабора при подтверждении возможности сохранения требуемого качества воды на расчетный срок эксплуатации. На месторождениях 3-й группы – по фактическому дебиту выработок, опробованных опытными или опытно-эксплуатационными откачками при подтверждении возможности получения достаточного дебита и требуемого качества воды на расчетный срок эксплуатации. В отдельных случаях в сложных гидрогеологических условиях запасы категории В оцениваются на освоенных месторождениях по фактическому отбору в том случае, если невозможно количественно оценить источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод, а отрицательное воздействие на окружающую природную среду при этом отсутствует.

Запасы категории C_1 применяются для обоснования целесообразности разведки месторождений подземных вод, а также разработки проекта на постановку разведочных работ. В ряде случаев запасы категории C_1 могут служить основанием для вовлечения месторождения подземных вод в эксплуатацию. Это, в первую очередь, месторождения в сложных гидрогеологических условиях, когда получение информации для перевода запасов в категорию В связано с большими и неоправданными затратами, а также, как правило, при изучении объектов с небольшой потребностью в воде (до 1000 м³/сут). Запасы категории C_1 должны удовлетворять следующим требованиям:

- подсчитаны в пределах месторождения или его участков применительно к проектной схеме водозабора и заявленной потребности в воде;
- достоверность принятых при подсчете запасов расчетных дебитов обоснована по данным бурения отдельных скважин и опробования их кратковременными пробными и опытными откачками, в зависимости от сложности урвня;
- источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод изучены приближенно в степени, позволяющей оценить обеспеченность отбора подземных вод применительно к принятой условной схеме водозабора;
- качество подземных вод и его изменения в течение расчетного срока водопотребления изучены в степени, обосновывающей возможность их использования по целевому назначению;
- условия водоотбора и его влияние на окружающую природную среду, подземные и поверхностные водоисточники изучены в степени, достаточной для обоснования возможности и геолого-экономической

целесообразности эксплуатации подземных вод, а также для определения принципиальных направлений природных мероприятий.

Запасы категории C_1 подсчитываются по месторождениям 1-й и 2-й группы сложности по расчетной производительности проектных водозаборов на основании фактического опробования отдельных разведочных выработок; при сложных гидрогеологических условиях (месторождениях 3-й группы) – по фактическому дебиту выработок, опробованных опытными или опытно-эксплуатационными откачками в пределах приближенно установленной величины обеспеченности эксплуатационных запасов.

Основанием для подсчета запасов по категории C_2 являются результаты поисковых работ или по аналогии с более изученным месторождением.

Запасы по категории C_2 могут также быть подсчитаны на оцененных и разведанных месторождениях дополнительно к запасам более высоких категорий, на месторождениях, изученных в процессе поисково-оценочных и разведочных работ. Также расчеты дают возможность оценить эксплуатационные возможности месторождения подземных вод.

Запасы категории C_2 должны удовлетворять следующим требованиям:

- подсчитаны по всей площади месторождения подземных вод применительно к условным обобщенным схемам эксплуатации по их расчетной производительности и в пределах общего баланса подземных вод;
- подсчитаны по аналогии гидрогеологических с более полным изученными площадями;
- подсчитаны по экстраполяции к запасам более высоких категорий в пределах общей величины обеспеченности эксплуатационных запасов подземных вод;
- рассчитанные дебиты скважин обоснованы результатами опробования единичных поисковых и картировочных скважин;
- условия формирования запасов изучены в степени, обеспечивающей оценку потенциальных возможностей водоотбора в пределах изучаемого месторождения;
- качество подземных вод изучено по единичным пробам и отвечает требованиям их целевого назначения;
- условия водоотбора изучены в степени, обеспечивающей возможность ориентировочной геолого-экологической оценки последствий эксплуатации и экономической эффективности использования подземных вод.

Прогнозные ресурсы категории P – количество подземных вод определенного качества и целевого назначения, которое может быть получено в границах оцениваемого продуктивного горизонта, перспективного для дальнейшего хозяйственного использования, и

характеризует потенциальные возможности использования подземных вод, в том числе применительно к существующей проектной или условной схемам расположения водопотребителей. Прогнозные ресурсы являются основой для постановки поисковых и разведочных работ на территориях, перспективных для выявления месторождений подземных вод, а также для составления схем комплексного использования и охраны водных ресурсов, оценке водохозяйственных балансов.

Прогнозные ресурсы оцениваются по результатам региональных геолого-гидрогеологических, гидрологических, водно-балансовых, гидрохимических и геофизических исследований на основе общих теоретических представлений об условиях формирования подземных вод.

Эксплуатационные запасы подземных вод по условиям освоения и хозяйственному и экологическому значению подразделяются на две группы – балансовые и забалансовые.

Балансовыми называются запасы подземных вод, целесообразность использования которых доказана результатами геолого-экономических, технологических и санитарно-гигиенических исследований. Возможность использования таких запасов подтверждается республиканскими и территориальными органами, согласовывающими и контролирующими вопросы природопользования. Основанием для отнесения запасов к балансовым являются установленная потребность в воде и соответствие их качества требованиям потребителя.

Забалансовыми называются запасы подземных вод, использование которых на период их оценки признано нецелесообразным. Причины нецелесообразности использования не связываются непосредственно с проектом водозабора и могут быть:

- технико-экономическими (невозможность отчуждения земель, изменения социально-экономической конъюнктуры и др.);
- технологическими (отсутствие рациональной технологии предварительной водоподготовки);
- экологические (природоохранные ограничения, необходимость регулирования поверхностного стока).

Забалансовые запасы подсчитываются и учитываются в том случае, если доказана возможность их последующего вовлечения в эксплуатацию.

Промышленное освоение месторождений подземных вод запускается в случае утверждения запасов категории А и В, а при сложных гидро-геологических условиях или незначительном водопотреблении – категории С₁.

Месторождения подземных вод передаются в недропользования для дальнейшего геологического изучения или освоения при положительном заключении государственной экологической экспертизы материалов подсчета запасов, наличии разрешительной документации и согласований с уполномоченными государственными органами (табл. 7.2).

Таблица 7.2

**Последовательность геологического изучения и
использования подземных вод**

Степень изученности запасов перед началом работ на данном этапе	Задачи планируемого изучения или использования недр на данном этапе	Планируемый этап изучения или использования недр	Категории ресурсов и запасов, полученные на планируемом этапе	Виды пользования недрами, лицензируемые в результате проведенных работ
1. Прогнозные ресурсы не оценены	Площадная оценка обеспеченности территории подземными водами	Региональная оценка прогнозных ресурсов	Р	Поиски и разведка
2. Прогнозные ресурсы категории Р оценены по площади	Выявление и оценка новых месторождений	Поисково-оценочные работы	$C_1 + C_2$	Разведка, разведка и эксплуатация
3. Оценено (выявлено) месторождение	Гидрогеологическое обоснование проекта водозабора	Разведка	$B + C_1 + C_2$	Эксплуатация
4. Разведка месторождения	Оценка степени освоения месторождения, составление проекта реконструкции водозабора	Эксплуатационная разведка	А, В	Подтверждение права на дальнейшую эксплуатацию

Повторная государственная геологическая экспертиза проводится в случаях:

1) перевода запасов из одной категории в другую по данным геолого-разведочных работ (например, по результатам разведки на выявленном месторождении из категории В + $C_1 + C_2$);

2) после окончания расчетного срока водопотребления по данным эксплуатации;

3) выявление в процессе разведки или эксплуатации дополнительных природных, экономических или экологических факторов, существенно влияющих на промышленную оценку месторождения и нарушающих условия лицензирования;

4) при изменении существовавшей на момент подсчета запасов водохозяйственной, санитарной и экологической обстановки;

5) перевода забалансовых запасов в балансовые;

6) не подтверждение запасов, ранее принятых экспертизой;

7) при превышении водоотбора на разрабатываемых месторождениях над суммарной величиной утвержденных запасов более чем на 20 %;

8) пересмотра кондиции, требований стандартных или технических условий к качеству подземных вод, изменение назначения их использования.

На освоенных месторождения подземных вод должен производиться мониторинг их состояния.

Результаты подсчета эксплуатационных запасов подземных вод оформляются в соответствии с действующей инструкцией о содержании, оформлении и порядке представления в ГКЗ РК и ТКЗ материалов подсчета запасов подземных вод [28].

Вопросы для контроля

1. Что понимается под естественным запасом подземных вод?
2. В каких природных условиях возможно формирование упругих запасов подземных вод?
3. Методы оценки естественных ресурсов подземных вод?
4. Условия формирования дополнительных запасов подземных вод?
5. Что понимается под эксплуатационными запасами подземных вод?
6. Методы оценки эксплуатационных запасов подземных вод?
7. Что понимается под допустимым понижением уровня подземных вод?
8. Последовательность оценки эксплуатационных запасов подземных вод гидродинамическим методом?
9. Методика составления карты водопроницаемости водоносных горизонтов, сложенных рыхлообломочными отложениями?
10. Что понимается под граничными условиями пласта в плане и разрезе?
11. По какому принципу категоризируются эксплуатационные запасы подземных вод?
12. Балансовые и забалансовые запасы, принцип их классификации?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время курс «Поиски и разведка подземных вод» является одним из важных курсов, изучаемых в высших учебных заведениях геологического профиля.

Знание его основ дает возможность методически верно решать задачи, связанные с проектированием различных видов гидрогеологических исследований в различных гидрогеологических условиях, оценкой эксплуатационных запасов месторождений подземных вод, разработкой рациональной схемы водозаборных сооружений для конкретных условий.

В целом материал учебного пособия направлен на то, чтобы облегчить студентам усвоение теоретического курса лекций, оказать помощь в выполнении контрольных работ, курсовом и дипломном проекте.

Учебное пособие входит в состав материалов полного методического обеспечения по курсу «Поиски и разведка подземных вод».

Автор будет благодарен за все замечания по содержанию и методическому построению учебного пособия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аренс В.Ж., Гайдин А.М. Геолого-гидрогеологические основы геотехнологических методов добычи полезных ископаемых. М.: Недра, 1978. С. 215.
2. Аренс В.Ж. Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых. М.: Недра, 1975. С. 264.
3. Башкатов Д.Н. и др. Специальные работы при бурении и оборудовании скважин на воду. М.: Недра, 1998.
4. Арипов Н.Ф., Карнышев Е.С. и др. Инженерно-геологические изыскания: Справочное пособие. М.: Недра, 1989. С. 288, ил.
5. Башков Д.Н., Тесля А.Г. Гидрогеологические наблюдения при бурении и опробовании скважин на воду. М.: Недра, 1970.
6. Бондаренко С.С., Куликов Г.В. Подземные промышленные воды. М.: Недра, 1984.
7. Боровский Б.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С. Оценка запасов подземных вод. 2-е изд. Киев: Высшая школа, 1989.
8. Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М.: Недра, 1983.
9. Боровский Б.В., Хордакайнен М.А., Язвин Л.С. Разведка и оценка эксплуатации запасов месторождений подземных вод в трещино-карстовых пластах. М.: Недра, 1976.
10. Гавич И.К., Семенова С.М., Швец В.М. Методы обработки гидрогеологической информации с вариантами задач. М.: Высшая школа, 1981.
11. Гринбаум И.И. Расходомерия гидрогеологических и инженерно-геологических скважин. М.: Недра, 1975 С. 271.
12. Дополнение к «Методическим указаниям по содержанию, оформлению и порядку представления в ГКЗ РК материалов по подсчету эксплуатационных запасов подземных вод (питьевых и технических, лечебных минеральных, промышленных и теплоэнергетических)». Переоценка эксплуатационных запасов подземных вод. Кокшетау, 2000. 12 с.
13. Дробноход Н.И., Язвин Л.С., Боровский Б.В. Оценка запасов подземных вод. Киев: Высшая школа, 1982.
14. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых под ред. Кашковского Г.Н. М.: Недра, 1986.
15. Квашнин Г.П. Технологии вскрытия и освоения водоносных пластов. М.: Недра, 1987.
16. Классификация эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод. ГКЗ, Алматы, 1997. 7 с.
17. Климентов П.П., Кононов В.М. Методика гидрогеологических исследований. М.: Высшая школа, 1989.

18. Крайнов С.Р., Швец В.М. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. М.: Недра, 1987.
19. Мелькановицкий И.М. и др. Методика геофизических исследований при поисках и разведке месторождений пресных вод. Москва: Недра, 1982.
20. Мелькановицкий И.М., Ряналова В.А., Хордакайнен М.А. Методические рекомендации по гидрогеологической съемке масштаба 1:200000. М.: ВСЕГИНГЕО, 1983.
21. «Месторождения подземных вод Казахстана». Справочник Института гидрогеологии и гидрофизики им. У.М. Ахмедсафина. Алматы, 1999. Т. I, II, III.
22. Методы геофизических исследований при поисках и разведке месторождений пресных подземных вод. М.: Недра, 1982.
23. Методы изучения и оценка ресурсов глубоких подземных вод. М.: Недра, 1986.
24. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии (методическое руководство). М.: Недра, 1972. С. 296.
25. Махмутов Г.Г., Смоляр В.А., Буров Б.В. Оценка состояния ресурсов подземных вод Казахстана и их использование. Экономические проблемы гидрогеологии и инженерной геологии Казахстана. Алматы: КазНТУ, 1999. С. 111-119.
26. Методические указания по применению Классификации эксплуатационных запасов подземных вод и месторождениям питьевых и технических вод. Алматы: ГКЗ РК, 1997. С. 10
27. Методические указания по применению Классификации эксплуатационных запасов подземных вод и месторождениям промышленных и теплоэнергетических вод. Алматы, ГКЗ РК, 1997. С. 11.
28. Методические указания по содержанию, оформлению и порядку предоставления в ГКЗ РК и ТКЗ материалов по подсчету эксплуатационных запасов подземных вод (питьевых и технических, лечебных минеральных, промышленных и теплоэнергетических). Алматы: ГКЗ РК, 1997. С. 14.
29. Методические указания по применению Классификации эксплуатационных запасов подземных вод и месторождениям лечебных минеральных вод. Алматы: ГКЗ РК, 1997. С. 11.
30. Минеев Б.П., Сидоров Н.А. Практическое руководство по испытанию скважин. Москва, Недра, 1980.
31. Мироненко В.А., Румынин В.Г. Охрана подземных вод в горнодобывающих районах. Л.: Недра, 1980.
32. Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н. Санитарная охрана водозаборов подземных вод. Москва, Недра, 1987.
33. Плотников Н.И., Плотников Н.А., Сычев К.И. Гидрогеологические основы искусственного восполнения запасов подземных вод. М.: Недра, 1979.

34. Сыдыков Ж.С., Шлыгина В.Ф. Подземные воды Казахстана. Структурно-гидрогеологическая основа и систематика. Алматы: Ғылым, 1998. С. 346.

35. Шестопалов В.М. Методы изучения естественных ресурсов подземных вод. М.: Недра, 1988. С. 168.

36. Штенгелов Р.С. Формирование и оценка эксплуатационных запасов пресных подземных вод. М.: Недра, 1988. С. 213.

37. Ядерно-геофизические методы в гидрогеологии и инженерной геологии / В.Т. Дубинчук, В.А.Поляков и др. М.: Недра, 1988.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Виды, структура, стадийность и принципы проведения гидро- геологических исследований	4
2. Гидрогеологическая съемка и гидрогеологические карты	14
3. Буровые работы и их задачи при поисках и разведке подземных вод	22
4. Технические средства, применяемые при поисках и разведке подземных вод	29
5. Полевые опытно-фильтрационные работы	32
5.1. Откачки, их виды и методика определения параметров водоносных горизонтов	33
5.2. Определение параметров водоносного горизонта по результатам прослеживания за восстановлением уровня после откачки	42
5.3. Проведение и обработка данных откачек для изучения граничных условий	43
5.4. Организация и проведение откачек	46
5.5. Методика нагнетания и наливов в скважины и шурфы	51
5.6. Экспресс-опробование водоносных горизонтов	57
5.7. Расходомерия в гидрогеологических скважинах	58
5.8. Определение направления и скорости движения подземных вод	61
6. Изучение режима подземных вод	63
7. Запасы подземных вод и методы их определения	67
7.1. Виды запасов подземных вод, их классификация	68
7.2. Оценка естественных запасов подземных вод	68
7.3. Определение упругих запасов подземных вод	69
7.4. Формирование и оценка естественных ресурсов подземных вод	71
7.5. Условия формирования дополнительных запасов подземных вод	79
7.6. Эксплуатационные запасы подземных вод и методы их оценки	80
7.7. Категории эксплуатационных запасов подземных вод	110
Заключение	117
Библиографический список	118

Учебное издание

Завалей Вячеслав Алексеевич

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Учебное пособие

Гл.редактор ИЦ

Редактор

Техн.редактор

Компьютерная верстка

З.А.Губайдулина

М.К.Сагымбаева

С.П.Полтавец

А.Н.Оразалиева

Подписано в печать

Тираж 500 экз. Формат 60×84 1/16.

Бумага типографская № 1.

Объем 7,7 уч. -изд.л. Заказ № 109

Цена договорная

Издание Казахского национального технического университета
им. К.И.Сатпасва

Издательский центр КазНТУ,
Алматы, ул.Сатпасва, 22