

М. В. СЕДЕНКО

ОСНОВЫ  
ГИДРОГЕОЛОГИИ  
И ИНЖЕНЕРНОЙ  
ГЕОЛОГИИ



М. В. СЕДЕНКО

ОСНОВЫ  
ГИДРОГЕОЛОГИИ  
И ИНЖЕНЕРНОЙ  
ГЕОЛОГИИ

551.49

*Издание третье,  
переработанное и дополненное*

ДОПУЩЕНО МИНИСТЕРСТВОМ ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ СССР В КАЧЕСТВЕ УЧЕБНИКА ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ  
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ СРЕДНИХ СПЕЦИАЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

6882



МОСКВА · НЕДРА · 1979





Седенко М. В. Основы гидрогеологии и инженерной геологии. 3-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1979. 200 с.

В учебнике изложены: происхождение подземных вод, условия их залегания и движения, физические свойства и химический состав. В третьем издании книги (2-е изд. — 1970) обновлены сведения о методах изучения подземных вод при разведке месторождений полезных ископаемых и для целей водоснабжения, рассмотрены условия обводненности подземных и открытых горных выработок и методы борьбы с подземными водами при разработке месторождений полезных ископаемых; описаны физико-механические свойства горных пород, физико-геологические и инженерно-геологические процессы и явления, методы инженерно-геологических исследований для различных видов строительства.

Книга предназначена для студентов геологоразведочных техникумов. Она может быть также использована студентами горных техникумов.

Табл. 12, ил. 50, список лит. — 34 назв.

Рецензент: д-р геол.-минерал. наук С. С. Бондаренко

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современный уровень развития науки и техники позволяет вести разработку месторождений полезных ископаемых с весьма сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями на самых различных глубинах. Выбор осушительных мероприятий и конструкций противодеформационных сооружений, их эффективность и рентабельность горнодобывающих предприятий всецело зависят от степени изученности геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических особенностей залегания конкретных месторождений, которые определяются в процессе ведения геологоразведочных работ.

В соответствии с этим техники-геологи, непосредственно руководящие разведочными работами, а также осуществляющие всю полевую и производственно-техническую документацию при ведении всех видов разведочных работ, должны знать основы учения о подземных водах и инженерной геологии.

Краткому изложению основ гидрогеологии и инженерной геологии и посвящен настоящий учебник, предназначенный для студентов геологоразведочных, а также горных техникумов. Книга написана в полном соответствии с программой курса «Основы гидрогеологии и инженерной геологии», утвержденной Учебно-методическим управлением по среднему специальному образованию Министерства высшего и среднего специального образования СССР в 1974 г.



## § 1. Предмет и задачи гидрогеологии

Гидрогеология — наука о подземных водах, т. е. водах, находящихся ниже поверхности земли в капельно-жидком, парообразном и твердом виде и приуроченных к различным горным породам. Они заполняют поры, трещины, карстовые пустоты и т. п. Гидрогеология изучает происхождение и развитие подземных вод, условия их залегания и распространения, законы движения, процессы взаимодействия с вмещающими горными породами, физические и химические свойства, газовый состав. В ее задачу входит также изучение вопросов практического использования подземных вод для питьевого и хозяйственно-технического водоснабжения, орошения, извлечения из подземных вод различных солей и химических элементов, а также разработка мероприятий по борьбе с подземными водами при строительстве и эксплуатации разных объектов — карьеров, шахт, метрополитенов и т. п.

Гидрогеология является отраслью геологии и рассматривает подземные воды на основе всестороннего их изучения в тесной и сложной взаимосвязи с горными породами и историей развития земной коры.

Гидрогеология охватывает значительный круг вопросов, изучаемых другими науками, и находится в тесной связи со смежными дисциплинами — метеорологией, климатологией, гидрологией, геоморфологией, почвоведением, литологией, тектоникой, геохимией, физикой, гидродинамикой, гидротехникой, горным делом и др.

В жизни людей подземные воды играют исключительно важную роль. По выражению академика А. П. Карпинского, подземные воды являются наиболее драгоценным ископаемым. Издавна подземные воды используются человеком для питьевого и хозяйственно-технического водоснабжения.

Широко используются подземные воды для лечебных целей, для добычи брома, йода, германия и других редких компонентов. Высокотемпературные воды применяются для отопления, выработки электроэнергии, выращивания овощей и фруктов и коммунальных целей.

Вместе с тем во многих отраслях народного хозяйства подземные воды играют весьма отрицательную роль. При строительстве гидротехнических сооружений, туннелей, метрополитенов и т. п. подземные воды значительно осложняют ведение работ, обуславливая необходимость осуществления дренажных и

гидроизоляционных мероприятий, нередко очень сложных, что значительно усложняет и удорожает строительство. В горнодобывающей промышленности подземные воды в большинстве случаев играют отрицательную роль.

Из сказанного ясно, что при проектировании горных предприятий и затем при ведении эксплуатационных работ для принятия наиболее целесообразных и рентабельных мер по борьбе с отрицательным действием подземных вод необходимы исчерпывающие сведения о гидрогеологических особенностях месторождения.

## § 2. Краткая история развития гидрогеологии

Значение подземных вод в геологических процессах и горном деле впервые было отмечено гениальным русским ученым М. В. Ломоносовым. Он один из первых в истории науки показал необходимость изучения «подземельных» (*его термин*) вод в связи с вмещающими их породами. М. В. Ломоносов имел ясное представление о круговороте воды в природе. Он утверждал, что подземные воды образуются за счет просачивания в горные породы атмосферных осадков, и считал воду геологическим фактором, действующим как в современную эпоху, так и в весьма отдаленном прошлом.

Большую роль в изучении подземных вод России сыграли экспедиции Академии наук, которые, начиная со второй половины 18 века, проводили систематическое комплексное изучение природных богатств Российского государства. В работах экспедиций принимали участие крупные русские ученые — С. П. Крашенинников, В. Ф. Зуев, Н. И. Лепехин, Н. Ф. Озерецковский, В. М. Севергин и др., внесшие значительный вклад в дело изучения природы страны в целом, в том числе и подземных вод. В течение 19 века и в начале 20 века в изучении подземных вод страны принимали участие Г. Е. Шуровский, Г. Д. Романовский, Н. А. Головкинский, С. Н. Никитин, И. И. Синцов, Н. А. Соколов, И. В. Мушкетов, А. Д. Архангельский и др., работы которых сыграли значительную роль в развитии отечественной гидрогеологии. И. В. Мушкетов изложил основы учения о подземных водах в отдельной главе своего классического учебника «Физическая геология» (1889 г.), С. Н. Никитин в 1900 г. опубликовал работу «Грунтовые и артезианские воды на Русской равнине».

В конце 19 века знаменитым русским ученым Н. Е. Жуковским была разработана теория фильтрации подземных вод на основе принципов гидромеханики.

Нельзя не отметить роль великого русского ученого-почвоведа В. В. Докучаева, идеи которого оказали плодотворное влияние на многие области естествознания; его работы о зональности почв способствовали развитию учения о зональности



грунтовых вод, которое с успехом развивали П. В. Отоцкий, В. С. Ильин, а в наше время Г. Н. Каменский, О. К. Ланге, И. В. Гармонов и др.

Несмотря на выдающиеся достижения отдельных ученых, гидрогеология в дореволюционные годы развивалась недостаточно эффективно. Бурное развитие гидрогеологии началось в годы Советской власти. Грандиозное строительство разнообразных объектов поставило перед гидрогеологией ряд сложных задач. Гидрогеологические исследования приобретают государственную значимость и проводятся в огромных масштабах во всех уголках нашей необъятной Родины в соответствии с общим бурным развитием всего народного хозяйства страны.

Советские гидрогеологи решили очень сложные и ответственные задачи, что потребовало проведения углубленных гидрогеологических исследований. Благодаря тесной связи с развивавшимся народным хозяйством гидрогеология именно в эти годы выделилась в самостоятельную научную дисциплину.

Из наиболее крупных советских ученых, способствовавших развитию гидрогеологии, следует упомянуть В. И. Вернадского, Н. Н. Павловского, Ф. П. Саваренского и Л. С. Лейбензона, Г. Н. Каменского, А. Ф. Лебедева, Н. Ф. Погребова, О. К. Ланге, А. Н. Семихатова и Н. Н. Толстихина. Из зарубежных ученых следует упомянуть А. Дарси, который в 1856 г. установил основной закон фильтрации подземных вод в пористой среде; К. Кейльгака, издавшего в 1912 г. книгу «Подземные воды и источники»; Е. Принца, издавшего в 1922 г. учебное пособие «Гидрогеология», имевшее технический уклон; О. Э. Мейнера, автора книги «Гидрогеологические понятия, определения и термины», изданной в 1923 г. и широко распространенной в Америке и Европе.

### § 3. Предмет и задачи инженерной геологии

Инженерная геология — отрасль геологии, изучающая верхнюю часть литосферы в связи со строительством различных сооружений. Возводимые объекты вызывают соответствующие изменения природных геологических условий, а измененная природная обстановка в сочетании с естественной в свою очередь влияет на условия строительства и эксплуатацию дорог, гидротехнических сооружений и других объектов. Отсюда следует, что одной из теоретической и практической задач инженерной геологии является прогнозирование геологических процессов, вызываемых хозяйственной деятельностью человека и разработка мероприятий, обеспечивающих устойчивость и нормальную эксплуатацию конкретных сооружений, возводимых в данных геологических условиях.

Инженерная геология тесно связана с физикой, химией, механикой, реологией, геологией, гидрогеологией и другими нау-



ками. Значение инженерной геологии для развития народного хозяйства исключительно велико. Строительство грандиозных гидротехнических сооружений на Волге, Днепре, Каме, Иртыше, Оби, Енисее, Ангаре, промышленных и гражданских зданий, метрополитенов, железных и автомобильных дорог, горных предприятий и других объектов, строительство различных сооружений в условиях многолетней (вечной) мерзлоты требуют проведения широких инженерно-геологических исследований для изучения геологического строения участка строительства, его геоморфологии, гидрогеологических особенностей, свойств грунтов, изучения физико-геологических и инженерно-геологических процессов, что дает возможность при проектировании сооружений учесть все природные особенности места строительства и предусмотреть осуществление необходимых профилактических мероприятий, предохраняющих сооружения от различного рода деформаций и обеспечивающих их нормальную эксплуатацию.

По утверждению основоположника инженерной геологии как науки акад. Ф. П. Саваренского (1939 г.), для возведения инженерного сооружения обыкновенно не столько опасны неблагоприятные геологические условия, сколько недостаточное знание этих геологических условий и неумение оценить их с точки зрения того или иного инженерного мероприятия.

#### § 4. Краткая история развития инженерной геологии

В дореволюционной России инженерной геологии как науки не существовало. В тот период крупнейшие русские ученые И. В. Мушкетов, А. П. Павлов, В. А. Обручев, К. П. Богданович, Д. Л. Иванов и многие другие, принимавшие участие в геологическом обслуживании разнообразных строительных объектов, главным образом железных дорог, накапливали лишь первоначальные сведения о составе и свойствах грунтов, о влиянии физико-геологических процессов и явлений на условия строительства возводимых сооружений. Их трудами создавались лишь необходимые предпосылки для последующего развития инженерной геологии.

После Великой Октябрьской социалистической революции, особенно в годы первых пятилеток, инженерно-геологические исследования получили огромное развитие. Строительство крупнейших объектов того времени — Днепрогэса, Свиргэса, Беломорско-Балтийского канала, Турксиба, Урало-Кузнецкого промышленного комплекса, Московского метрополитена — и изыскания по проблемам Большой Волги и Большого Днепра, а также многие другие объекты потребовали соответствующего инженерно-геологического обоснования.

Развитие инженерной геологии в СССР неразрывно связано с именем акад. Ф. П. Саваренского, который бесспорно счи-



тается основоположником этой отрасли научных знаний. Используя колоссальный опыт инженерно-геологических исследований, проведенных в годы первых пятилеток, а также опыт крупнейших ученых-геологов дореволюционного периода, Ф. П. Саваренский наиболее полно, глубоко и всесторонне обосновал предмет, задачи и содержание инженерной геологии, методику инженерно-геологических исследований и место инженерной геологии среди других научных дисциплин.

Одним из основных разделов инженерной геологии является «Общее грунтоведение», основоположником которого является крупный русский ученый М. М. Филатов, организовавший в двадцатых годах текущего столетия в Московском государственном университете кафедру грунтоведения.

Особой отраслью науки о грунтах является механика грунтов, рассматривающая их механические свойства на основе законов теоретической и строительной механики с учетом особой природы грунтов как мелкодисперсных систем, в порах которых заключены вода и газ, и устанавливающая общие закономерности поведения грунтов при взаимодействии с сооружениями. В развитии механики грунтов большую роль сыграл проф. Н. М. Герсеванов, ставший во главе созданного в 1931 г. Всесоюзного института оснований (ныне НИИОСП).

Исследованиями Н. А. Цытовича и других в механике грунтов выделился особый раздел «Механика мерзлых грунтов», имеющий существенное значение в связи с освоением северных и северо-восточных районов нашей страны.

Большую роль в развитии инженерной геологии сыграли исследования В. В. Охотина, И. В. Попова, В. А. Приклонского, Н. Я. Денисова, Е. М. Сергеева, Н. Н. Маслова, Н. В. Коломенского и многих других.

## **§ 5. Значение гидрогеологии и инженерной геологии в народном хозяйстве СССР**

Проблемы, изучаемые и решаемые гидрогеологией и инженерной геологией, имеют исключительно важное значение в народном хозяйстве страны. Знание инженерной геологии и гидрогеологии совершенно необходимо для успешного развития целого ряда отраслей народного хозяйства. Именно эти науки решают проблемы, связанные со строительством инженерных сооружений (промышленных зданий, железных дорог, водохранилищ и т. д.), мелиорации почв, водоснабжения. Ярким примером важности гидрогеологии могут служить следующие данные: в СССР пресные подземные воды являются единственным источником водоснабжения в 60% населенных пунктов; 20% городов и поселков имеют смешанное (за счет подземных и поверхностных вод) водоснабжение и лишь 20% снабжается водой за счет поверхностных источников. Промышленные под-



земные воды служат единственным видом сырья для добычи иода и основным видом (на 60—70%) для добычи брома.

В 10-й пятилетке и более долгосрочной перспективе будут осваиваться обширные, богатейшие природными ресурсами районы Севера, Сибири, Дальнего Востока, где уже выявлены и разведаны самые разнообразные месторождения минерального сырья и где будут найдены новые, еще более богатые месторождения полезных ископаемых. В значительном объеме будут проводиться комплексные геологоразведочные работы в зоне, тяготеющей к Байкало-Амурской магистрали.

Гидрогеологические и инженерно-геологические условия районов Севера, Сибири и Дальнего Востока, где на значительной площади распространена вечная мерзлота, изучены крайне недостаточно. Следовательно, в общем комплексе разведочных работ в большом объеме будут проводиться гидрогеологические и инженерно-геологические исследования, поскольку гидрогеологическая и инженерно-геологическая обстановка на каждом конкретном месторождении всегда специфична, что и необходимо точно учитывать при проектировании шахт и карьеров, чтобы производительность труда горняков и эффективность горного предприятия были наиболее высокими. Как отметил XXV съезд КПСС, эффективность всего общественного производства является важнейшей составной частью экономического роста нашей страны.

Научно-технический прогресс обусловил интенсивное вторжение человека в естественные процессы, совершающиеся в природе, в том числе и геологические. Нередко деятельность человека сказывается пагубно на окружающей природную обстановку. Поэтому разумное использование природных богатств, охрана окружающей среды — повседневная забота Советского правительства, всего советского народа. Верховный Совет СССР издал ряд законов об охране лесов, поверхностных и подземных вод, минерального сырья и других природных богатств, так как окружающая нас природа является важнейшей составной частью производительных сил общества. На необходимость всемерного сохранения окружающей среды указывается и в решениях XXV съезда КПСС. Тем самым природная среда будет нарушаться в минимальной степени и затем восстанавливаться в оптимально короткие сроки.

## Глава I

### КРУГОВОРОТ ВОДЫ В ПРИРОДЕ

#### § 6. Общие сведения

Вода в природе встречается в трех состояниях: парообразном, жидком и твердом. Переход воды из одного состояния в



другое происходит в основном под влиянием солнечного тепла, а также жизнедеятельности растений и других факторов.

В атмосфере вода содержится в виде пара, в капельно-жидком (в виде облаков и тумана) и твердом состоянии (кристаллы льда, град, снег). Всего в атмосфере в среднем содержится около 14 тыс. км<sup>3</sup> воды, преимущественно в виде пара. Но благодаря постоянному пополнению атмосферной влаги за счет испарения на поверхность Земли ежегодно выпадает около 520 тыс. км<sup>3</sup> осадков.

На поверхности Земли вода в жидком состоянии скапливается в океанах, морях, озерах, болотах, а также находится в виде ледников и снега, образуя гидросферу; основная масса воды гидросферы составляет Мировой океан — около 1370 млн. км<sup>3</sup>.

В земной коре — литосфере — вода содержится в виде пара, в жидком и твердом состоянии, а также в виде химически связанной (цеолитная, кристаллизационная и конституционная). Общее количество воды в земной коре, начиная от почвенного слоя и кончая ее границей с мантией, составляет около 1300 млн. км<sup>3</sup>, т. е. примерно столько же, сколько ее содержится и в открытом океане.

Значительное количество воды содержится в животных и растениях, совокупность которых образует своеобразную оболочку земли, называемую биосферой.

Воды атмосферы, гидросферы и верхней части литосферы находятся в самой тесной связи между собой. Испаряясь с поверхности океанов, озер, других водоемов и с суши, а также превращаясь в паробразное состояние в результате жизнедеятельности организмов, вода переходит в атмосферу, а из нее вновь выпадает на поверхность Земли в виде дождя, града и других осадков, составляя звенья общего круговорота воды на Земле — одного из самых грандиозных процессов. Это один из главных механизмов, обуславливающих формирование поверхности Земли, обмен веществ и энергии.

В ходе круговорота постоянно возобновляются водные ресурсы в атмосфере, на поверхности Земли и в верхней части литосферы, создается исключительное многообразие вод, их различие. Вместе с тем водам присуще их главнейшее свойство — единство. Все природные воды, — писал В. И. Вернадский, — где бы они ни находились, теснейшим образом связаны между собой и представляют единое целое.

Процессы перехода из одной сферы Земли в другую являются весьма сложными, составляя общий круговорот воды в природе, который складывается из испарения, осадков и стока (поверхностного и подземного). Различают большой, малый и внутриматериковый, или местный, круговороты. При большом круговороте часть воды, испарившейся с водной поверхности океанов и морей, ветром переносится на сушу и там

выпадает в виде осадков, которые затем расходуются на поверхностный и подземный сток, а также испарение. При малом круговороте вода, испарившаяся в пределах океанов и морей, выпадает здесь же. При внутриматериковом круговороте испа-

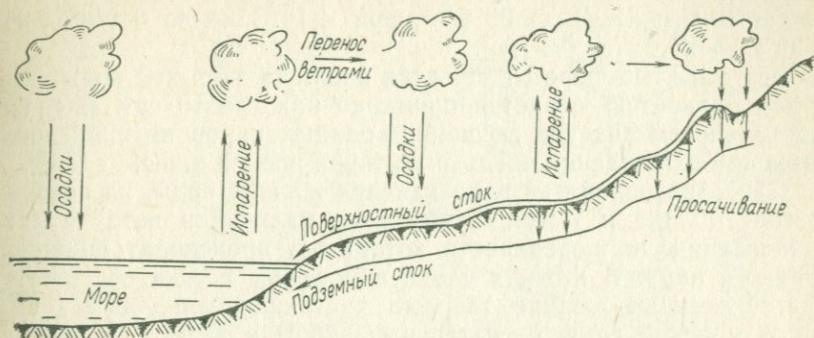


Рис. 1. Схема круговорота воды в природе

рившаяся в пределах материков (с поверхности озер, болот, рек, с суши и при помощи растительности) вода вновь выпадает на материке (рис. 1).

В практической деятельности человека внутриматериковый круговорот воды имеет очень большое значение. Поэтому одной из задач строительства крупных водохранилищ в нашей стране, огромных оросительных систем, насаждения лесов, полезащитных лесных полос, орошения и обводнения земельных массивов и других мероприятий является усиление внутреннего круговорота воды в засушливых районах европейской части СССР и в республиках Средней Азии. Взаимопереход вод атмосферы, гидросферы и литосферы зависит от температуры, давления, рельефа, геологического строения территории, литологического состава пород, характера растительности и других условий. Поэтому при гидрогеологических исследованиях наряду с изучением рельефа, геологии необходимо также знать и метеорологическую обстановку — силу и направление ветров, изменения температуры во времени, количество испаряющейся воды, количество осадков и их характер (дождь, снег, иней), распределение осадков по временам года, поверхностный сток и другие факторы, влияющие на условия образования подземных вод. Обычно метеорологические данные берутся с ближайшей метеостанции.

## § 7. Атмосферные осадки

Атмосфера Земли почти целиком состоит из газообразных веществ. На уровне моря средний состав атмосферы по массе



следующий (%): 78,0 молекулярного азота; 20,95 молекулярного кислорода; 0,93 аргона; 0,03 углекислого газа. Кроме того, присутствуют ничтожные количества водорода, неона, гелия, криптона, ксенона, радона, пыли и водяного пара. Содержание последнего зависит от температуры воздуха: при  $+30^{\circ}\text{C}$  его может содержаться до  $30 \text{ г/м}^3$ , при  $+10^{\circ}\text{C}$  — до  $8 \text{ г/м}^3$ , при  $-30^{\circ}\text{C}$  — не более  $0,3 \text{ г/м}^3$ .

Всего в атмосфере содержится около 14 тыс. км<sup>3</sup> воды; этот объем полностью меняется примерно каждые 10 сут. В совершенно чистом воздухе сгущение водяных паров не происходит даже при охлаждении воздуха до точки росы и ниже.

Для образования из пара капелек жидкой воды, из которых состоят облака и туман, необходимо наличие в воздухе ядер конденсации, на поверхности которых и происходит снижение водяного пара. В нижних слоях атмосферы всегда содержатся многочисленные мелкие твердые частички пыли, дыма, крупинки морской соли, растительные споры и т. п., обладающие гигроскопичностью, которые и являются ядрами конденсации. Когда капельки становятся настолько крупными, что уже не могут удерживаться в атмосфере, они выпадают в виде дождя, снега или других осадков.

Количество осадков измеряется толщиной слоя воды в миллиметрах, который установился бы при отсутствии стока и испарения.

Интенсивность осадков — количество осадков, выпавших за 1 мин. Осадки с интенсивностью больше  $0,5\text{—}1 \text{ мм/мин}$  именуется ливнями.

Количество атмосферных осадков не везде и не всегда одинаково. Осадки меняются с переменной места, а для одного и того же пункта — по сезонам и годам. Наибольшее количество осадков выпадает в Индии (Манойрам и Черрапунджи), где оно достигает  $11\,626\text{—}14\,200 \text{ мм}$  в год, наименьшее в пустыне Атакама ( $1\text{—}10 \text{ мм}$ ), где в течение многих лет не выпадает ни капли дождя.

В СССР атмосферные осадки выпадают крайне неравномерно по сезонам и по отдельным районам. В европейской части летом осадков выпадает больше, чем зимой. В Средней Азии в летний период количество осадков невелико, а в иные годы равно нулю.

Наибольшее количество осадков выпадает на Черноморском побережье Кавказа — от Сочи до Батуми  $1200\text{—}2870 \text{ мм}$  в год. В средней полосе европейской части СССР осадков выпадает  $400\text{—}600 \text{ мм}$  в год, в северных районах —  $100\text{—}300 \text{ мм}$ , в Прикаспийском районе —  $150\text{—}200 \text{ мм}$ .

При определении роли атмосферных осадков в питании подземных вод необходимо изучать и учитывать не только абсолютное количество осадков, но и их продолжительность, интенсивность, вид (жидкие, твердые) время выпадения, а так-

же учитывать общие климатические и физико-географические условия изучаемой территории.

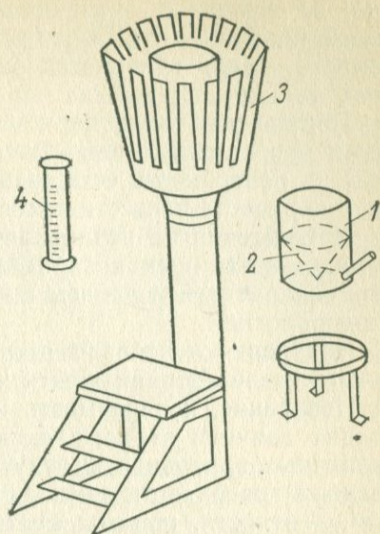


Рис. 2. Дождемер системы  
В. Д. Третьякова.

1 — металлическое ведро; 2 — воронкообразная диафрагма; 3 — воронкообразный футляр; 4 — мензурка

Количество выпадающих атмосферных осадков измеряется специальными приборами — дождемерами (рис. 2), или осадкомерами, которые устанавливают на метеостанциях.

## § 8. Испарение

Испарение — процесс превращения воды из жидкого в парообразное состояние под влиянием температуры. В атмосферу парообразная влага поступает путем испарения с поверхности океана, морей, озер, болот, водохранилищ, рек, поверхности облачных капель, поверхности почвы и с листьев растений. Подземные воды могут испаряться лишь на тех участках, где высота капиллярного поднятия достигает дневной поверхности.

Особым видом испарения является образование парообразной влаги в результате жизнедеятельности растений. Это явление называется *транспирацией*. Транспирация — физиологический процесс, связанный с ростом тканей растений. При образовании 1 г растительной ткани испаряется от 300 до 1000 г воды; 1 т урожая пшеницы поглощает 1500 т воды, 1 т риса — 4000 т, а 1 т хлопка — 10 000 т. Испарение с растительного покрова всегда превышает испарение с обнаженной почвы.

Основная масса воды в атмосферу попадает в результате испарения с поверхности Мирового океана. Испарение играет



важную роль в тепловом балансе морей и атмосферы и поэтому является одним из важнейших климатообразующих факторов; на испарение затрачивается почти 25% энергии, поступающей на Землю от Солнца. В среднем за год с поверхности земного шара испаряется около 520 тыс. км<sup>3</sup> воды, или слой воды толщиной 1 м.

Наблюдения за испаряемостью с водной поверхности проводятся при помощи специальных плавучих испарителей, опускаемых на поверхность естественных водоемов (озер, прудов) или на поверхность искусственно созданных бассейнов.

Наблюдения за испарением с поверхности почвы ведут при помощи почвенных испарителей. Подробное описание различных испарителей и работы с ними приведено в руководствах по метеорологии.

Испарение и испаряемость выражаются в миллиметрах водяного столба испарившейся жидкости.

Испарение, испаряемость и транспирация в конкретных условиях зависят от комплексного сочетания и влияния самых различных природных и искусственных факторов: рельефа, экспозиции поверхности земли, скорости ветра и связанной с ним турбулентности, широты места, времени года, характера испаряющейся поверхности, суммы и характера выпадающих осадков, характера растительности, характера и вида гидротехнических сооружений, вида мелиоративных мероприятий и др.

Изучение и учет испарения имеют огромное значение для решения многих практических задач, особенно на равнинах, где имеются крупные водохранилища, каналы, проводится полезащитное лесонасаждение, осуществляются осушительные и оросительные мелиоративные работы и др.

## § 9. Поверхностный и подземный стоки

Под *поверхностным стоком* понимается перемещение воды в процессе ее круговорота по земной поверхности.

Термином *подземный сток* называют процесс перемещения воды в толще пород земной коры.

Поверхностный сток является одним из важнейших элементов круговорота воды в природе. Количество воды, идущей на поверхностный сток, зависит от ряда факторов: климата, вида осадков, рельефа местности, водопроницаемости горных пород, искусственных факторов (создание водохранилищ на реках, оросительных и осушительных систем, полезащитных лесных полос и пр.).

Общий объем речного стока со всей суши составляет 36 560 км<sup>3</sup> в год (данные И. И. Львовича, 1964 г.), из этого объема в океан стекает 35 560 км<sup>3</sup>.

Главным фактором стока являются климатические условия; чем больше выпадает атмосферных осадков, чем меньше испа-



рение, тем больше сток. В засушливых районах (юго-восток европейской части СССР и Средняя Азия), где осадков выпадает мало, многие реки летом пересыхают.

Различные виды осадков обуславливают различный характер стока. Продолжительные небольшой интенсивности обложные дожди, а также кратковременные слабые дожди дают слабый сток. Сильные дожди и ливни вызывают значительный сток. Снеговой покров только весной, при таянии, дает сильный сток, обуславливая бурные паводки на реках.

Сильнорасчлененный рельеф (в горах и при густой сети оврагов и балок) способствует быстрому стоку атмосферных осадков. Слаборасчлененный рельеф, особенно когда местность и склоны задернованы или покрыты кустарником и лесом, способствует замедлению стока.

Водопроницаемость пород существенно сказывается на стоке. Чем больше атмосферных осадков просачивается и идет на пополнение подземных вод, тем меньше поверхностный сток.

Полезащитные лесные полосы, как правило, уменьшают поверхностный сток, способствуя просачиванию осадков. Крупные гидротехнические сооружения — водохранилища, оросительные каналы — оказывают весьма существенное влияние на сток, замедляя его и несколько уменьшая; вместе с тем эти сооружения увеличивают испарение.

Реки, через которые осуществляется сток, питаются поверхностными (дождевыми, снеговыми, ледниковыми) и подземными водами. Величина того или иного вида питания рек зависит от климата, геологического строения долины реки, рельефа, гидрогеологических условий и других факторов.

Подземные воды питают реки в результате дренирования водоносных горизонтов, когда склоны речных долин пересекают водоносные горизонты. Равнинные реки СССР летом и осенью питаются одновременно за счет дождей и подземных вод, а зимой почти исключительно за счет последних.

Величина подземного стока зависит от соотношения между площадью водоносных бассейнов поверхностного и подземного стоков и тектонических особенностей долины реки. На рис. 3 показано соотношение бассейнов поверхностного (АБ) и подземного (а, б) стоков.

Величину стока определяют обычно для площади всего бассейна реки в ее устье, а также и для любого другого ее участка. Для определения величины стока необходимо знать расход реки, под которым понимается количество воды, протекающее в единицу времени через поперечное сечение живого потока воды.

Чтобы определить расход реки в том или ином сечении, необходимо знать среднюю скорость движения воды в реке ( $V$ , м/с) и площадь поперечного сечения водного потока ( $F$ , м<sup>2</sup>).



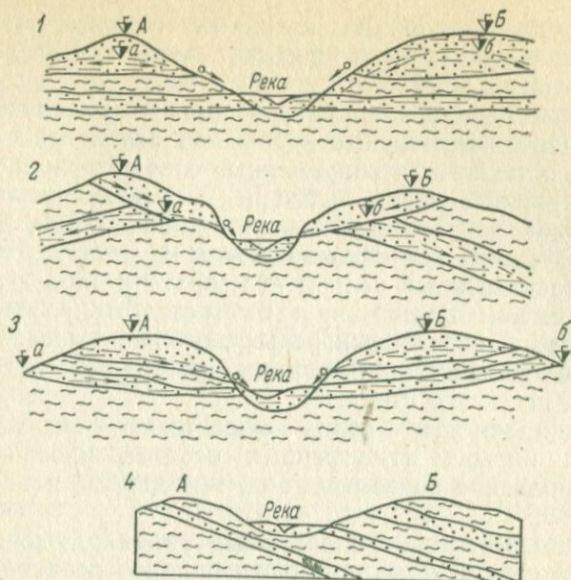


Рис. 3. Соотношение бассейнов поверхностного и подземного стоков.

1 — бассейны поверхностного и подземного стоков совпадают; 2 и 3 — бассейны поверхностного и подземного стоков не совпадают 4 — питание реки за счет подземных вод отсутствует

Расход  $Q$  определится умножением средней скорости на площадь сечения:

$$Q = V \cdot F \text{ м}^3/\text{с.}$$

Методика и техника определения расхода реки подробно изложена в курсах гидрометрии.

### § 10. Виды вод в горных породах

Вода в горных породах находится в разном физическом состоянии. Первую научно обоснованную классификацию подземных вод по их состоянию предложил известный ученый А. Ф. Лебедев. Он выделил пять видов подземных вод — водяной пар, гигроскопическую воду, пленочную, гравитационную и лед. Позднее были выделены еще несколько видов подземных вод, однако сущность представлений А. Ф. Лебедева не изменилась. В настоящее время выделяют следующие виды подземных вод: парообразную, физически связанную (гигроскопическую и пленочную), свободную (гравитационную, иммобилизованную, капиллярную), химически связанную (конституционную и кристаллизационную) и воду в твердом состоянии.

Химически связанная вода мало влияет на физико-механические свойства пород и поэтому в данном учебнике не характеризуется.

Вода в форме пара — одна из составных частей газовой фазы горных пород — находится в постоянном динамическом равновесии с другими видами воды в породах и парах воды в атмосфере. При определенных условиях паровая влага конденсируется, обуславливая увеличение влажности грунтов, снижая прочность их глинистых разностей.

Физически связанная вода подразделяется на прочносвязанную (гигроскопическую, или адсорбционную) и рыхлосвязанную (пленочную). Прочносвязанная вода образуется на поверхности минеральных частиц, которым присуща поверхностная энергия, природа которой электростатическая; электросиловое поле около частиц, как правило, имеет отрицательный заряд. Молекулы воды, являясь жесткими диполями, притягиваются своими положительными концами к поверхности частицы; силы притяжения составляют сотни и тысячи паскалей. Физические свойства прочносвязанной воды подобны твердым телам: плотность ее в среднем равна  $20 \text{ г/см}^3$ , ей присуща значительная вязкость, упругость и прочность на сдвиг, температура замерзания минус  $78^\circ\text{C}$ , диэлектрическая проницаемость 2—2,2 (свободной — 81). Ее содержание в песках составляет менее 1%, лёссах до 8%, глинах до 18%.

6282  
Хотя молекулы воды являются жесткими диполями, электрически они нейтральны. Благодаря этому их адсорбция или удаление с поверхности частиц не влияет на величину заряда электросилового поля частиц. Этот заряд уравнивается катионами, притягиваемыми из порового раствора. Часть катионов прочно удерживается около частиц, образуя адсорбционный слой катионов, около которых также ориентируются диполи воды, а часть, в силу броуновского эффекта, образует подвижный слой катионов различной плотности, именуемый диффузным. Катионы диффузного слоя также ориентируют вокруг себя диполи воды и около мелкодисперсных грунтовых частиц, помимо гидратной оболочки из прочносвязанной воды, образуется вторая гидратная оболочка. Вода диффузного слоя именуется рыхлосвязанной, или пленочной. Следовательно, глинистые частицы контактируют не непосредственно, а через гидратные (сольватные) оболочки, толщина которых обуславливается сочетанием различных факторов (степени дисперсности, минерального состава и др.).

Прочно- и рыхлосвязанная вода в совокупности именуется *молекулярной водой*. Максимальное количество молекулярной воды называется *максимальной молекулярной влагоемкостью* и является важной характеристикой при строительной оценке грунтов; чем она больше, тем хуже их строительные свойства. Наличие в глинистых породах молекулярной влаги придает им



ряд важных в строительном отношении свойств: липкость, пластичность, набухание, усадку и др.; прочностные и деформационные свойства пород изменяются в обратной зависимости от количества рыхлосвязанной воды.

Свободная вода образует жидкую фазу горной породы и подразделяется на капиллярную, иммобилизованную и гравитационную.

*Капиллярная вода* заполняет капиллярные пустоты в породах. Под действием сил поверхностного натяжения на границе раздела воды и воздуха она поднимается выше уровня подземных вод, образуя зоны капиллярного насыщения. Высота капиллярного поднятия в крупнозернистых песках не превышает 2—3 см, а в глинах достигает 6—12 м и зависит от диаметра пор, гранулометрического и минерального состава пород, химического состава воды и других факторов.

Капиллярная вода, в строгом смысле, не является свободной, так как формирование ее происходит под действием сил поверхностного натяжения (а не гравитационных). Капиллярная вода при строительстве оказывает отрицательное воздействие: снижает прочность грунтов в основании сооружений, является причиной образования пучин на дорогах и аэродромах и других явлений.

*Иммобилизованная вода*, являясь капельно-жидкой, образуется в замкнутых порах. При механических воздействиях на грунт, когда нарушается каркас глинистого грунта, иммобилизованная вода превращается в гравитационную и служит причиной перехода грунта в тиксотропное состояние.

*Гравитационная вода* передвигается по порам и трещинам в горных породах под действием силы тяжести и выполняет большую механическую и химическую работу. Имеет огромное значение в жизни человека и является главным объектом изучения в гидрогеологии.

Вода в твердом состоянии содержится в горных породах в виде рассеянных кристаллов льда или ледяных прослоев и жил, цементирующих минеральные частицы пород, превращая их в мерзлое состояние. Свойства мерзлых грунтов существенно отличны от свойств талых и подробно описываются в соответствующих руководствах.

## § 11. Происхождение подземных вод

О происхождении воды на Земле существуют различные воззрения. Большинство исследователей полагают, что первоначально вода образовалась из магмы в процессе ее охлаждения и кристаллизации; магма же образовалась путем разогрева и переплавки холодного планетарного вещества за счет тепла от радиоактивных процессов. Большая часть атмосферных, наземных и подземных вод Земли образовалась путем так на-

зывается «зонной плавки» (по А. П. Виноградову) вместе с выплавлением ее более легкой каменной оболочки — литосферы.

Частично вода на Земле образуется за счет потока космических частиц. Содержащиеся в них протоны захватывают в верхних слоях атмосферы электроны и превращаются в водород, который вступает в реакцию с кислородом воздуха и образует воду. По данным Л. С. Абрамова, таким путем получается ежегодно  $1,5 \text{ км}^3$  воды, выпадающей в виде осадков на Землю.

В практической деятельности человека существенное значение имеют воды, приуроченные к литосфере, в основном циркулирующие в осадочной толще, которые в узком смысле и именуются *подземными водами*. Происхождение этих вод двойное; большая часть подземных вод образуется путем просачивания — *инфильтрации* атмосферных осадков, а частично путем *конденсации* из воздуха при понижении температуры воздуха, находящегося в порах пород, до точки росы. Часть подземных вод образуется одновременно с осаждением терригенных материалов на дне водоемов, будучи захороненной в порах осадочных толщ; эти воды называются *седиментационными*.

В общем ходе круговорота воды на Земле наиболее активно участвуют воды инфильтрационного и конденсационного происхождения; седиментационные воды, входящие в состав древних осадочных толщ, могут включаться в общий круговорот в результате геологических процессов (сжатия в складки, разрушения вышележащих толщ, образования трещин и т. п.) и время их круговорота измеряется геологическими периодами. Еще меньше доля участия в общем круговороте глубинных, восходящих из мантии потоков воды; их роль велика лишь в геологическом масштабе времени, обеспечивая общеземные накопления вод и их круговорот.

В местах залегания месторождений полезных ископаемых подземные воды образуются и пополняются преимущественно путем инфильтрации. Об этом свидетельствует наблюдаемое почти во всех шахтах и рудниках увеличение притоков воды в горные выработки в весеннее время и после выпадения дождей, хотя и с некоторым запаздыванием.

## § 12. Классификация подземных вод

До настоящего времени единой общепринятой классификации подземных вод не существует. В основу классификации подземных вод могут быть положены различные признаки: способ образования, условия залегания, гидравлические свойства, литологический состав водоносных пород, их возраст, физические свойства подземных вод, их химический состав.



По происхождению подземные воды подразделяются на инфильтрационные, конденсационные и ювенильные. Инфильтрационные воды, захороненные вместе с осадками и в разной степени преобразованные, называются седиментационными водами. Они нередко составляют значительную по объему часть подземных вод крупных артезианских бассейнов.

По условиям залегания подземные воды делятся на: 1) *поверховые*, залегающие и циркулирующие в порых горных пород, которые слагают самую поверхностную часть земной коры; 2) *пластовые*, залегающие и циркулирующие в порых или трещинах осадочных горных пород, перекрываемых и подстилаемых водоупорными породами; в свою очередь подразделяются на *порово-пластовые* и *трещинно-пластовые*; 3) *трещинные*, циркулирующие в скальных трещиноватых породах; 4) *карстовые*, циркулирующие в массивах карбонатных, гипсоносных и соленосных раскарстованных пород; 5) *трещинно-жилльные*, циркулирующие в тектонических трещинах и зонах тектонических разломов.

По гидравлическим свойствам подземные воды делятся на *безнапорные*, или воды со свободной поверхностью, и *напорные*, когда водоносный горизонт перекрыт сверху водоупором и находящаяся в нем вода испытывает гидростатическое давление, обуславливающее напор.

В зависимости от возраста водовмещающих пород подземным водам присваивается соответствующее наименование: *воды каменноугольных, юрских, третичных отложений* и т. п.

По содержанию растворенных солей подземные воды подразделяются на следующие виды: 1) *пресные*, содержащие до 1 г/л растворенных веществ; 2) *солончатые*, содержащие 1—10 г/л солей; 3) *соленые* (10—50 г/л); 4) *рассолы* (свыше 50 г/л).

По температуре подземные воды подразделяются на четыре типа: 1) *холодные* с температурой ниже 20°C; 2) *теплые* (20—37°C); 3) *горячие* (37—42°C); 4) *очень горячие* (термы) с температурой свыше 42°C.

В практике существенное значение при характеристике и оценке подземных вод имеет не только общее содержание растворенных солей, но и состав этих солей. В зависимости от преобладания растворенных в воде солей различают воды *гидрокарбонатные, сульфатные* и *хлоридные*, а по катионам — *кальциевые, магниевые* и *натриевые*. Классификация подземных вод по химическому составу приведена ниже.

Помимо солей в подземных водах всегда содержатся различные газы — углекислота, азот, сероводород и др., часто имеющие большое практическое значение. В зависимости от практической значимости растворенного в воде газа различают *углекислые, сероводородные, радоновые* и другие виды подземных вод. В большинстве случаев подобные воды имеют ле-



чебное значение (углекислые воды Кисловодска, сероводородные воды Мацесты, радоновые воды Цхалтубо и др.). Подземные воды, обладающие теми или иными лечебными свойствами, называются *бальнеологическими*.

Подземные воды, содержащие в растворенном виде какое-либо вещество в концентрациях, при которых возможно извлечение этого вещества, называются *промышленными*: иодные, бром-иодные, бромные и т. п.

## Глава II

### ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

#### § 13. Главнейшие процессы и факторы формирования физико-механических свойств горных пород

Физико-механические свойства горных пород формируются в процессе литогенеза, под которым понимается вся совокупность геологических процессов, определивших современный состав, строение, структуру и текстуру пород и тем самым их физико-механические свойства. Соответственно генезису различают три группы горных пород: магматические, метаморфические и осадочные.

Магматические породы являются обычно очень прочными, для них характерно наличие жестких кристаллизационных связей между частицами, под воздействием массы сооружений они не деформируются, в воде практически нерастворимы. Как основания различных сооружений неветрелые или слабо выветрелые магматические породы очень устойчивы. Устойчивость откосов карьеров, выемок и других сооружений, сложенных магматическими породами, обуславливается трещиноватостью и степенью выветрелости этих пород.

Метаморфические породы обладают менее удовлетворительными физико-механическими свойствами по сравнению с магматическими, но как основания сооружений они надежны. Только наличие сланцеватости, а также нередко их значительная трещиноватость и раздробленность заставляют более критически оценивать их при возведении на них различных сооружений, особенно гидротехнических, строительстве карьеров, шахт и других сооружений.

Осадочные породы преобладают в верхней зоне литосферы и при строительстве приходится иметь дело преимущественно с ними. Свойства осадочных пород наиболее разнообразны. В результате этого, а также ввиду их широкого распро-



странения осадочные породы являются основным объектом изучения при инженерно-геологических исследованиях.

Образование рыхлых обломочных осадочных пород начинается с *седиментации* терригенных материалов. Осадки, уплотняясь под воздействием массы вышележащих отложений, а также в результате протекающих в их толще сложных физико-химических процессов, постепенно из осадка превращаются в породу. Процесс превращения осадка в породу получил наименование *диагенеза*.

Наибольшее значение с инженерно-геологической точки зрения диагенетические процессы имеют в изменении *плотности* и *упрочнении* осадков. Плотность гравия, гальки, а отчасти и песка, характеризуемая их пористостью, под влиянием давления от вышележащих толщ практически не увеличивается. Существенное влияние на плотность и прочность раздельнозернистых осадков оказывает циркулирующая по их порам вода, содержащая растворенные соли, глинистые и органо-минеральные вещества. Из циркулирующих растворов выпадают гипс, углекислая известь, гидраты окислов железа, кремнекислота, осаждаются глинистые частицы и другие вещества, которые заполняют поры раздельнозернистых осадков. Выпадение этих образований в порах приводит к увеличению плотности песчаных и крупнообломочных пород, одновременно происходит их цементация: пески превращаются в песчаники, галечники — в конгломераты. Прочность образующихся при этом пород определяется прочностью природного цемента. Наиболее прочными являются породы, скрепленные кремнекислотой, менее прочными — глинистым цементом.

Диагенез глинистых осадков имеет иной характер и в существенной мере зависит от состава и среды. Вообще уплотнение и упрочнение глинистых осадков нельзя рассматривать только как простой механический процесс. В глинистых осадках с первого момента их образования протекают сложные диагенетические процессы, обусловленные взаимодействием различных факторов — механического уплотнения, химических, физико-химических и биохимических процессов, в совокупности обуславливающих литификацию осадка и превращение его в породу.

При инженерно-геологической оценке изучаемых участков существенное значение имеют *условия залегания* горных пород: форма залегания, мощность и протяженность пластов, соотношение пород друг с другом, тектоническая нарушенность и т. п.

Благоприятными условиями для строительства наземных объектов следует считать такие, когда в основании сооружений залегают однородные выдержанные по площади и мощности породы: песчаники, сланцы, аргиллиты, крупные интрузивные тела. Менее благоприятно частое чередование в основании сооружений пород различного литологического состава,

физико-механические свойства которых неодинаковы: линзовидное залегание аллювиальных и ледниковых отложений, чередование песчаников, известняков и сланцев, наличие в изверженных породах жил, даек и небольших куполов. Сильная тектоническая нарушенность, особенно трещиноватость, имеет существенное значение (обычно отрицательное) при строительстве гидротехнических сооружений и подземных объектов.

При инженерно-геологической оценке горных пород обязательно нужно учитывать также текстурные и структурные их особенности.

Под текстурой в инженерной геологии понимается совокупность признаков, характеризующих неоднородность породы в пласте; обычно определяется расположением и соотношением механических (гранулометрический состав), минералогических и структурных элементов в пласте данной породы. Текстура обуславливает анизотропность свойств породы в разных направлениях. Наибольшее значение текстура имеет при инженерно-геологической оценке осадочных пород, так как текстурные особенности этих пород могут обусловить явления сдвига откосов искусственных выработок (выемок, карьеров и т. п.), неравномерную сжимаемость пород в основании сооружений, проявление механической суффозии и другие нежелательные процессы, отрицательно влияющие на сооружения.

Под *структурой* горных пород в инженерной геологии понимают их строение, определяемое следующими признаками: размером, формой и характером поверхности слагающих породу частиц; относительным расположением и взаимоотношением их в породах; характером связей между частицами породы, оказывающих сопротивление при механическом воздействии на нее; последние называются *внутренними структурными связями*. Структурные связи в первую очередь определяют физико-механические свойства горных пород и изменение этих свойств во взаимодействии с сооружениями.

По П. А. Ребиндеру, структурные связи в горных породах подразделяются на три типа: коагуляционные, конденсационные и кристаллизационные.

Коагуляционные структурные связи между минеральными частицами, слагающими осадочные породы, возникают при осаждении в водоемах терригенного материала. Тонкодисперсные и коллоидные частицы, около которых имеются пленки физически связанной воды, испытывая броуновское движение, соударяются. При этом между частицами в местах контактов проявляются силы межмолекулярного взаимодействия (силы вандерваальса) и частицы слипаются — коагулируют, что убыстряет процесс осаднения. Как правило, в процессе коагуляции образуются агрегаты из многих слипшихся минеральных частиц различного размера (рис. 4). В результате на дне водоемов образуется очень рыхлый структур-



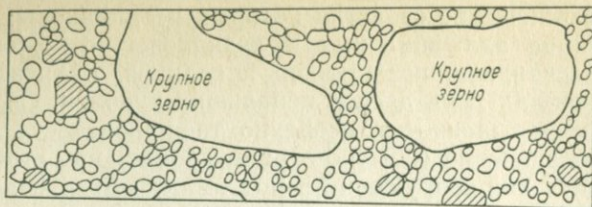


Рис. 4. Схема агрегатной структуры глинистого грунта

ный каркас из агрегатов первого, второго и более высоких порядков. В порах структурного каркаса удерживается значительное количество иммобилизованной воды.

Прочность пород при наличии только коагуляционных структурных связей невелика, составляя доли мегапаскалей. Коагуляционные структурные связи обычно присущи глинистым породам четвертичного возраста.

Конденсационные структурные связи возникают в обломочных осадочных горных породах в процессе их диагенеза. Факторами, обуславливающими образование структурных связей этого типа, являются: кристаллизующиеся из порового раствора (по мере уменьшения его объема или содержащихся в нем газов) различные химические вещества, играющие роль цемента между минеральными частицами; перекристаллизация коллоидных глинистых минералов в процессе их старения; биогенное осаждение кальцита, арагонита, гидратов окислов железа, алюминия и других веществ, цементирующих минеральные частицы; цементация минеральных частичек пленками коллоидов, преимущественно гелем кремнекислоты, гидратами окислов железа и т. п., адсорбирующимися на поверхности более крупных частиц грунта, осаждающимися вместе с ними и кристаллизующимися с течением времени; склеивающее действие различных органо-минеральных соединений, всегда имеющих в терригенных осадках и с течением времени твердеющих.

Структурные связи рассматриваемого типа могут быть водостойкими (цементирующее действие отвердевших коллоидов кремнезема, гидроокислов железа, алюминия и др.) и водонестойкими (цементация за счет гипса, карбонатов и других растворимых солей).

Кристаллизационные структурные связи в разных породах имеют различную природу. В изверженных породах эти связи возникают по мере охлаждения магмы и выкристаллизации из нее минералов. В целом структурные связи в изверженных и некоторых метаморфических породах (гнейсах, кремнистых песчаниках и др.) очень жесткие, водоустойчи-



вы, в невыветрелом состоянии временное сопротивление сжатия у этих пород обычно превышает 100 МПа.

Кристаллизационные связи в хемогенных породах возникают при осаждении из водных пересыщенных растворов солей, отдельные кристаллы которых при этом срastaются друг с другом.

Кристаллизационные структурные связи, будучи весьма прочными, при разрушении не восстанавливаются, так как они хрупкие.

#### § 14. Показатели физико-механических свойств горных пород

Строительные свойства грунтов определяются совокупностью их физических и механических свойств. Многие физические и механические свойства грунтов во времени являются переменными, изменяясь под влиянием природных и искусственных факторов, что и обуславливает необходимость изучать свойства грунтов в их взаимодействии с внешней средой.

Для классификации грунтов и оценки их поведения во взаимодействии с сооружением необходимо иметь количественные (цифровые) характеристики или показатели их свойств, которые получают путем изучения грунтов методами, подробно изложенными в специальных руководствах (В. Д. Ломтадзе, Е. Г. Чаповского и др.). Выделяют следующие показатели свойств грунтов:

1. **К л а с с и ф и к а ц и о н н ы е**, позволяющие подразделять изучаемые грунты по объективным показателям на определенные классы. К ним относятся: минеральный и гранулометрический состав, естественная влажность, коэффициент влажности, плотность, число пластичности, консистенция и др.

2. **К о с в е н н ы е**, позволяющие в первом приближении оценить строительные свойства грунтов. К ним относятся: объемная масса, пористость, пластичность, набухание, консистенция, степень плотности и др.

3. **П р я м ы е р а с ч е т н ы е**, дающие непосредственное количественное выражение важных в строительном отношении свойств грунтов, используемых для окончательных расчетов осадки сооружений, устойчивости искусственных откосов, расчетов водозаборов и дренажных сооружений, подпорных стенок и т. п. К ним относятся: объемная масса, коэффициент уплотнения, модуль общей деформации, сцепление, угол внутреннего трения, относительная просадочность, коэффициент фильтрации и др.

Некоторые косвенные и прямые расчетные показатели используются одновременно для уточнения классификации грунтов.



Большинство показателей определяется на образцах грунтов в их естественном состоянии, так называемых монолитах (при их естественной структуре, пористости и влажности). Только при использовании грунтов как материала для насыпей, дамб и различных сооружений все показатели определяются на образцах нарушенной структуры, причем они искусственно доводятся до состояния, которое будут иметь в построенном сооружении. Состав показателей, число определений для каждой разности грунтов и методы определений показателей следует устанавливать в зависимости от типов грунтов, сооружения и стадии проектирования. Наиболее полно (не менее 10—15 определений) показатели свойств грунтов определяются на стадии рабочего проектирования, поскольку по действующим нормативным руководствам многие показатели, особенно прямые расчетные, необходимо определять методами математического статистического обобщения.

При отборе образцов грунтов для лабораторных исследований их свойств должны соблюдаться требования ГОСТа 12071—72.

**Гранулометрический состав грунтов.** Под гранулометрическим или (реже) механическим составом понимают процентное содержание частиц различного размера, составляющих данную рыхлую породу. Размер частиц изменяется в широких пределах — от сотен и десятков сантиметров у крупнообломочных раздельнозернистых пород до сотых и тысячных долей миллиметра и меньше у глинистых пород. Группы частиц более или менее одинакового размера называются *фракциями*. В СССР в большинстве классификаций грунтов по гранулометрическому составу различают следующие фракции (табл. 1).

Таблица 1

Фракция	Размер, мм	Фракция	Размер, мм		
Валуны и глыбы:	800 800—400 400—200	Песчаные частицы:	грубые	2—1	
			крупные	1—0,5	
			средние	0,5—0,25	
мелкие		тонкие	0,25—0,10		
Галька и щебень:	200—100 100—60 60—40 40—10	Пылеватые частицы:	тонкие	0,10—0,05	
			крупные	0,05—0,01	
				мелкие	0,01—0,005
Гравий и дресва:	10—6 6—4 4—2	Глинистые частицы:	грубые	0,005—0,001	
			тонкие	<0,001	

Изменение размера частиц в грунтах самым существенным образом сказывается на их свойствах. Песчаные (и более крупные) — не пластичны, не набухают, не дают усадки, хорошо водопроницаемы, обладают незначительным капиллярным поднятием. Глинистые — пластичны, набухают, дают усадку, маловодопроницаемы, имеют большое капиллярное поднятие, влажность их может достигать 600% (очень гидрофильны). При инженерно-геологическом изучении грунтов их гранулометрический состав имеет важное значение и является одним из основных классификационных показателей.

В зависимости от процентного соотношения различных фракций крупнообломочные и песчаные раздельнозернистые сыпучие породы при строительстве дорог, гражданских и промышленных зданий и других сооружений по СНиПу [22] классифицируются следующим образом (табл. 2).

Таблица 2

Наименование видов крупнообломочных и песчаных грунтов	Распределение частиц по крупности в % от массы сухого грунта
Грунт щебнистый (при преобладании окатанных частиц — галечниковый)	Крупнее 10 мм >50%
Грунт дресвяный (при преобладании окатанных частиц — гравийный)	Крупнее 2 мм >50%
Песок гравелистый	Крупнее 2 мм >25%
Песок крупный	Крупнее 0,5 мм >50%
Песок средней крупности	Крупнее 0,25 мм >50%
Песок мелкий	Крупнее 0,1 мм >50%
Песок пылеватый	Крупнее 0,1 мм <75%

Примечание. Для установления наименования грунта по таблице последовательно суммируются проценты содержания частиц исследуемого грунта: сначала — крупнее 10 мм, затем — крупнее 2 мм, далее — крупнее 0,5 мм и т. д. Наименование грунта дается по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименований в таблице.

Знание гранулометрического состава грунтов совершенно необходимо для решения целого ряда практических задач: классификации изучаемых пород, ориентировочного определения степени их водопроницаемости, установления возможности их вымыва в откосах выемок и насыпей, расчета гравийных фильтров, оценки грунтов для отсыпки насыпей, балластного слоя, приготовления бетона и т. д.

Методы гранулометрического анализа многочисленны: могут быть упрощенные, полевые, для приближенного определения состава пород, и точные, производимые в лабораториях, оснащенных специальной аппаратурой. Эти методы описаны в специальных руководствах.

Результаты гранулометрического анализа для наглядности изображаются графически в виде циклограмм, треугольников, а чаще всего в виде суммарных кривых в полулогарифмиче-



ском масштабе (рис. 5). По графику гранулометрического состава определяется эффективный или действующий диаметр  $d_{10}$ , диаметр шестидесяти  $d_{60}$  и коэффициент неоднородности  $K_n$ . Эффективный диаметр — диаметр частиц, меньше которого в данном грунте содержится (по массе) 10% частиц.

Коэффициент неоднородности определяется по формуле

$$K_n = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Если  $K_n > 3$  для песчаных грунтов и  $K_n > 5$  для глинистых грунтов, то они считаются неоднородными.

Удельная масса (плотность) грунтов  $\gamma_n$  — масса единицы объема минеральных частиц, определяемая как отношение

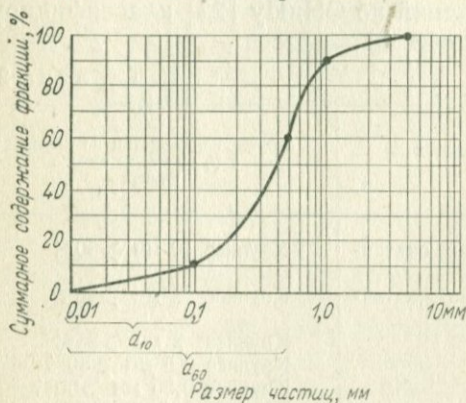


Рис. 5. Суммарная кривая гранулометрического состава в полулогарифмическом масштабе

массы частиц к объему вытесненной ими жидкости; выражается обычно в граммах на кубический сантиметр ( $\text{г/см}^3$ ). Удельная масса минералов, входящих в состав рыхлых пород, изменяется в незначительных пределах. Величина удельной массы используется для определения некоторых физических и механических показателей, поэтому она является косвенной характеристикой. Опре-

деляется по ГОСТу 5181—64.

Объемная масса  $\gamma_o$  — масса единицы объема грунта при естественной пористости и влажности, выражается в граммах на кубический сантиметр. Поскольку грунтам присуща пористость, то объемная масса всегда меньше плотности. Объемная масса грунтов является одной из самых важных физических характеристик и определяет многие их строительные свойства. Величина ее зависит от пористости и степени увлажнения породы; максимальная объемная масса ее при данной пористости будет при полном заполнении пор водой. Объемная масса породы является прямым расчетным показателем и используется для: 1) расчета давления грунта на подпорные стенки; 2) расчета устойчивости откосов выемок, котлованов, карьеров и т. п.; 3) определения величины горного давления в тоннелях; 4) вычисления объемной массы скелета грунта, его пористости и коэффициента пористости (в последнем случае объемная масса является косвенным показателем); 5) опреде-



ления допустимого давления в основании сооружения и решения других задач.

Объемная масса на монолитах определяется по ГОСТу 5182—64. Недостатком этого метода является малый объем грунта в измеряемых приборах и необходимость извлечения образцов из массива пород, в процессе чего естественная пористость грунта в какой-то мере нарушается. Поэтому в последние годы разработаны методы определения объемной массы грунта (пенетрационные и ядерные) непосредственно в массиве. Ядерные гамма-лучевые методы являются наиболее перспективными благодаря высокой производительности, экономичности и дают вполне надежную точность. Могут применяться как при однократных, так и при многократных определениях объемной массы одного и того же массива грунта, что особенно важно при ведении стационарных наблюдений на оползневых склонах, за осадками сооружений во времени и т. п.

Объемная масса скелета грунта (иначе — объемная масса твердой фазы)  $\gamma_c$  — масса единицы объема грунта при естественной пористости, но без массы поровой воды. Объемная масса скелета грунта характеризует плотность породы и определяется по формуле

$$\gamma_c = \frac{\gamma_0}{1 + 0,01W},$$

где  $W$  — естественная влажность грунта.

Естественная влажность  $W$  — количество воды в порах грунта в естественных условиях. Представляет отношение массы воды к массе минеральных частиц в данном объеме грунта в процентах. Определяется естественная влажность по ГОСТу 5180—75 на образцах, отобранных в поле. В природной обстановке естественная влажность определяется различными методами: электротермическим, термоэлектрическим, диэлектрическим и нейтронным, изложенными в специальных руководствах. Из них наиболее эффективным является нейтронный, отличающийся от других дешевизной, точностью и оперативностью. Влажность грунтов является важной их характеристикой, особенно глинистых, и изменяется в широких пределах, от нескольких (в сухих песках) до многих сот процентов (в илах). В зависимости от влажности песчаные и глинистые породы могут находиться в различном физическом состоянии, соответствующем чему (особенно у глинистых грунтов) изменяется их прочность, деформируемость и устойчивость. Влажность, соответствующая полному заполнению всех пор грунта водой, именуется *полной влагоемкостью* и определяется по формуле

$$W_B = \frac{100e}{\gamma_c} \text{ или } W_B = \frac{n}{\gamma_c} \%,$$

где  $e$  — коэффициент пористости;  
 $n$  — пористость.



В природных условиях естественная влажность не всегда соответствует полной влагоемкости. В подобных случаях характеристикой степени заполнения пор водой служит *степень влажности грунта*, или *коэффициент влажности* (доля заполнения объема пор грунта водой) — отношение объема пор, заполненных водой, к общему объему пор в данном объеме грунта. Определяется по формуле

$$G = \frac{W\gamma_{ч}}{e} \text{ или } G = \frac{W}{W_B}.$$

Из физического определения степени влажности следует, что этот показатель может изменяться в пределах от 0 до 1 (все поры в грунте заполнены водой).

По величине  $G$  песчаные, а также макропористые грунты подразделяются на: маловлажные ( $G < 0,5$ ); очень влажные ( $0,5 < G < 0,80$ ) и насыщенные водой ( $0,8 < G < 1$ ). Степень влажности является важной характеристикой песчаных грунтов, так как поведение песков в основании сооружений определяется не их абсолютной влажностью, а относительной, количественно характеризуемой этим показателем. По действующим СНиПам нормативные давления на песчаные грунты основания изменяются от 0,3 (пески мелкие маловлажные) до 0,1 МПа (пески пылеватые, насыщенные водой).

*Пористость  $n$*  — отношение объема пор ко всему объему грунта, в процентах.

*Коэффициент пористости  $e$*  — отношение объема пор к объему скелета (объему твердой фазы) грунта. Пористость и коэффициент пористости являются очень важными показателями свойств грунтов, характеризую их плотность, что при оценке грунтов как оснований сооружений имеет существенное значение. В зависимости от значения коэффициента пористости по СНиПу II 15—74 устанавливаются и расчетные характеристики песчаных и глинистых грунтов (для последних с учетом также числа пластичности и консистенции, см. ниже).

Песчаные грунты в зависимости от величины коэффициента пористости по плотности подразделяются на следующие разновидности (по указанному СНиПу).

Таблица 3

Вид песчаных грунтов	Плотность сложения грунтов		
	плотные	средней плотности	рыхлые
Пески гравелистые, крупные и средней крупности	$e < 0,55$	$0,55 < e < 0,70$	$e > 0,70$
Пески мелкие	$e < 0,60$	$0,60 < e < 0,75$	$e > 0,75$
Пески пылеватые	$e < 0,60$	$0,60 < e < 0,80$	$e > 0,80$

Пористость грунтов определяется расчетом, так как лабораторные методы непригодны в связи с тем, что при заполнении пор водой породы набухают, и тем самым их пористость возрастает и уже не будет соответствовать естественной пористости грунтов. Пористость определяют по формулам:

$$n = \frac{\gamma_{\text{ч}} - \gamma_{\text{с}}}{\gamma_{\text{ч}}} \cdot 100\% \quad \text{или} \quad n = \left[ 1 - \frac{\gamma_0}{(1 + 0,01W)} \right],$$

а коэффициент пористости

$$e = \frac{\gamma_{\text{ч}} - \gamma_{\text{с}}}{\gamma_{\text{с}}} \quad \text{или} \quad e = \frac{n}{100 - n}.$$

Поскольку плотность грунтов, характеризуемая пористостью, является важной их строительной характеристикой, то в последние годы предложены методы, позволяющие определять пористость грунтов в их естественном состоянии с помощью радиоактивных изотопов и пенетрацией. Определение естественной плотности пород радиоактивными методами основано на использовании явлений рассеяния и поглощения гамма-лучей, испускаемых радиоактивным источником, при их прохождении через породу. С увеличением плотности пород проникающая сила гамма-излучения уменьшается в определенной зависимости, а величина рассеяния гамма-лучей увеличивается. На точность определения плотности пород этим методом степень влажности пород, минерализация подземных вод, а также температура пород никакого влияния не оказывают. В настоящее время сконструированы приборы, позволяющие определять плотность пород радиоактивными методами на любой глубине при ничтожной затрате средств и времени на каждое определение.

Метод пенетрации, или зондирования, для определения плотности грунтов, рекомендуемый СНиП, подробно описывается в соответствующих руководствах (см. § 30).

Пластичность грунтов — способность глинистых пород изменять свою форму (деформироваться) под действием внешних сил без разрыва сплошности и сохранять полученную при деформации новую форму после прекращения действия внешних сил.

Связные (глинистые) грунты при обычных температурах проявляют пластичность лишь при определенном содержании физически связанной воды, позволяющем минеральным частицам передвигаться (скользить) относительно друг друга без разрыва сплошности. С неполярными жидкостями (керосин, бензин и др.) грунты не дают пластичной массы, поскольку между этими жидкостями и грунтовыми частицами не возникают силы электростатического взаимодействия и около частиц не образуются сольватные оболочки из этих жидкостей.

Пластичные свойства глинистых грунтов зависят от влаж-



ности, степени дисперсности, минерального состава, состава обменных катионов, концентрации порового раствора, состава катионов и др.

Важнейшими факторами, обуславливающими пластичность, являются гранулометрический и минеральный состав. Пластичность начинает проявляться у частиц мельче 0,005 мм; значительная величина пластичности присуща частицам 0,001—0,0005 мм, и наибольшей величины она достигает у частиц менее 0,0002 мм. В присутствии органических коллоидов пластичность сильно увеличивается.

Минеральный состав также является фактором, в значительной степени определяющим пластичность грунтов, так как толщина гидратных оболочек физически связанной воды у разных минералов при их одинаковой дисперсности различная. Наибольшая пластичность присуща грунтам монтмориллонитового состава, менее пластичны гидрослюдистые и наименее — каолинитовые грунты.

Величина пластичности в зависимости от состава обменных катионов (при прочих равных условиях) увеличивается согласно следующему ряду: катион<sup>3+</sup> < катион<sup>2+</sup> < катион<sup>+</sup>.

Эта закономерность соответствует изменению содержания рыхлосвязанной воды, которая наблюдается при замещении одних катионов на другие.

Значительное влияние на пластичность грунта оказывают состав и концентрация порового раствора, поскольку от этого зависит толщина диффузного слоя и, следовательно, толщина гидратных оболочек у частиц.

Существенное влияние на пластичность оказывают структурные связи в грунтах. Наибольшая пластичность, при прочих равных условиях, присуща грунтам с коагуляционными связями. В грунтах с кристаллизационными связями пластичность проявляется только при разрушении этих связей.

Следовательно, все факторы, увеличивающие величину диффузного слоя, а тем самым и толщину гидратной пленки физически связанной воды, способствуют увеличению пластичности грунтов и чувствительности их к изменениям внешней физико-химической обстановки.

Глинистые породы становятся пластичными только при некотором строго определенном содержании воды. В инженерно-геологической практике пластичность глинистых пород характеризуется так называемыми *пределами пластичности*.

*Нижний предел пластичности, или предел раскатывания в проволоку,  $W_p$*  — влажность в процентах, при которой глина раскатывается в жгутики диаметром 3 мм; при этой влажности порода из твердого состояния переходит в пластичное. Определяется по ГОСТу 5183—64.

*Верхний предел пластичности, или граница текучести,  $W_L$*  — влажность в процентах, при которой глинистые грунты

из пластичного состояния переходят в текучее. Определяется по ГОСТу 5184—64.

Число пластичности, или индекс пластичности,  $I_p$  — разность между влажностью верхнего и нижнего пределов пластичности:

$$I_p = W_L - W_p.$$

Число пластичности является классификационным показателем. По СНиПу глинистые грунты в зависимости от числа пластичности подразделяются на следующие виды (табл. 4).

Таблица 4

Виды глинистых грунтов	Число пластичности
Супесь	$0,01 < I_p < 0,07$
Суглинок	$0,07 < I_p < 0,17$
Глина	$I_p > 0,17$

Консистенция грунтов. Из характеристики пределов пластичности следует, что состояние глинистых пород, а тем самым, и их строительные свойства меняются в зависимости от степени увлажнения. Так, сухая глина при увлажнении из состояния твердого тела переходит сначала в пластичное, а затем в текучее. Такое изменение состояния глин при увлажнении

Таблица 5

Наименование грунта	Показатель консистенции
<b>Супеси</b>	
Твердые	$I_L < 0$
Пластичные	$0 \leq I_L < 1$
Текучие	$I_L > 1$
<b>Супеси и глины</b>	
Твердые	$I_L < 0$
Полутвердые	$0 \leq I_L < 0,25$
Тугопластичные	$0,25 < I_L < 0,5$
Мягкопластичные	$0,5 < I_L < 0,75$
Текучепластичные	$0,75 < I_L < 1$
Текучие	$I_L > 1$

называется изменением их консистенции. Под консистенцией понимают степень подвижности частиц грунта или сопротивляемость его внешним механическим воздействиям при различной влажности. Количественно консистенция характеризуется показателем консистенции, определяемым по формуле.



$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}$$

Классификация глинистых грунтов по величине показателя консистенции приведена в табл. 5 (по СНиПу II 15—74).

По значениям коэффициента пористости, нижнего предела пластичности и показателя консистенции по указанному СНиПу для глинистых грунтов устанавливаются соответствующие расчетные характеристики, используемые при расчете осадок сооружений, устойчивости откосов и др.

Определяемые указанными выше способами пределы пластичности и консистенция не отражают естественного состояния глинистых пород, так как значения пределов пластичности определяются на образцах нарушенной структуры, когда полностью разрушаются присущие им в природном состоянии внутренние структурные связи.

В строительной практике известно много случаев, когда глинистые породы по показателю консистенции должны быть текучими, т. е. их несущие свойства должны быть равны нулю. В действительности же при испытаниях опытными штампами, когда сохраняется внутреннее структурное сцепление, их несущие свойства далеко не равны нулю. Это обуславливалось наличием в подобных грунтах водостойких цементационных структурных связей. Поэтому более точно консистенцию глинистых пород, а тем самым и их прочность следует определять в их природном состоянии. Наиболее перспективным методом определения консистенции и прочности грунтов в их естественном, ненарушенном состоянии будут методы пенетрации и зондирования, с каждым годом все более совершенствуемые.

Таблица 6

Наименование грунта	Удельное сопротивление зондирования, 0,1 МПа
Твердое	$R > 1,9$
Полутвердое	$0,85 < R < 1,9$
Тугопластичное (вязкопластичное)	$0,38 < R < 0,85$
Мягкопластичное (липкопластичное)	$0,17 < R < 0,38$
Текучепластичное (вязкотекучее)	$0,76 < R < 0,17$
Текучее	$R < 0,076$

Методы пенетрации и зондирования состоят в определении сопротивления грунтов проникновению в них наконечников — конусов определенной формы и размеров; если глубина погружения конуса не превышает его высоты, метод называют *пенетрацией*, а если превышает, — *зондированием*. Оценку глинистых грунтов по результатам зондирования производят по табл. 6, предварительно определив удельное сопротивление зондирования по формуле



$$R = \frac{P}{h^2},$$

где  $P$  — усилие зондирования, 0,1 МПа;

$h$  — глубина погружения конического наконечника под влиянием усилия  $P$ , см.

Определение прочности глинистых грунтов по удельному сопротивлению пенетрации производят по табл. 7 (согласно СНиПу II 15—74).

Таблица 7

Наименование грунта	Удельное сопротивление пенетрации, 0,1 МПа
Слабые	<0,5
Средней прочности	0,5—1,0
Прочные	1—2,0
Очень прочные	>2,0

Липкость (клейкость, прилипаемость) — способность грунтов при определенном содержании воды прилипать к рабочим органам землеройных механизмов и инструментам. Проявляется она при влажности выше нижнего предела пластичности. Это свойство грунтов изучено недостаточно. Полагают, что липкость обуславливается силами взаимодействия между молекулами физически связанной воды и частицами грунта, с одной стороны, и молекулами воды и поверхностью соприкасающегося с грунтом инструмента, — с другой.

Количественной характеристикой липкости грунтов является максимальное усилие в 0,1 МПа, необходимое для отрыва металлической пластинки от грунта при различной его влажности, что определяется в лабораторных условиях. Различают влажность начального прилипания, максимального прилипания и максимальное значение липкости. Липкость грунтов обуславливается теми же факторами, что и пластичность; в наибольшей степени липкость проявляется в натрий-монтмориллоновых глинах. Определение липкости имеет существенное значение при строительстве дорог, аэродромов и других объектов; значительная липкость осложняет работу землеройных машин при рытье котлованов, выполнении вскрышных работ на карьерах и т. п., что следует заранее учитывать.

Набухание и усадка грунтов. Глинистые породы при увлажнении увеличиваются в объеме — набухают, а при уменьшении влажности происходит уменьшение их объема — усадка. Причиной набухания является увеличение толщины гидратных оболочек физически связанной воды; объем минеральных частичек в набухающем грунте остается неизменным, а увеличение объема обуславливается увеличением пор, пол-



ностью заполняемых водой; тем самым влажность набухающих грунтов возрастает. Поскольку утолщающиеся около минеральных частичек гидратные оболочки снижают силы молекулярного притягивания между частицами, то прочность набухающих грунтов значительно уменьшается. Усадка обусловливается процессами, обратными набуханию. Уточняющиеся при уменьшении влажности гидратные оболочки не препятствуют проявлению сил молекулярного притяжения между твердой фазой грунта, при этом происходит сближение частиц и объем грунта сокращается.

Важнейшими факторами, обуславливающими набухание глинистых грунтов при увлажнении, являются те же, которые влияют на пластичные свойства грунтов, их обменную способность и др., уже разобранные выше, а именно: 1) степень дисперсности; 2) минеральный состав; 3) состав обменных катионов; 4) характер внутренних структурных связей; 5) химический состав и концентрация порового раствора; 6) рН порового раствора; 7) величина внешней нагрузки. Чем дисперснее глины, тем (при прочих равных условиях) они сильнее набухают и им присуща большая усадка. В кристаллах монтмориллонита молекулы воды свободно проникают внутрь кристаллической решетки, раздвигая ее по оси *C*; в зависимости от степени увлажнения и состава обменных катионов расстояние по оси *C* может изменяться от  $9,6 \cdot 10^{-8}$  (в сухом состоянии) до  $14 \cdot 10^{-7}$  см и больше (в водонасыщенном состоянии). Влажность набухания натрий-монтмориллонитовых глин в зависимости от концентрации порового раствора составляет от 150 (при значительной концентрации) до 92% (при малой концентрации); кальций-монтмориллонитовых, соответственно, 130—143%, натрий-каолинитовых 84—87%, кальций-каолинитовых 80%.

Явления набухания и усадки глинистых пород, служащих основанием сооружений, обуславливают деформации последних, так как при соответствующих условиях (наличии тяжелых натрий-монтмориллонитовых глин и поступлении в них мало-минерализованной воды) давление набухания может достигнуть 0,3—0,5 МПа и превысить давление, передаваемое на грунты основания сооружением, следствием чего является неравномерное набухание пород основания, что в свою очередь может повлечь деформацию нежестких сооружений (полотна дорог, кирпичных зданий и т. п.). Поскольку увлажнение в плане является неравномерным, то это еще в большей степени влияет на деформацию сооружений. Если сооружение возведено на насыщенных водой тяжелых глинах, то испарение воды будет сопровождаться уменьшением их объема (усадкой), что повлечет за собой дополнительную осадку сооружения; так как уменьшение влажности в плане и по глубине протекает неравномерно, то и дополнительная осадка также является



неравномерной, что еще в большей степени деформирует сооружение.

По СНиПу II 15—74 к набухающим грунтам относятся те, которые при замачивании водой или химическими растворами увеличиваются в объеме и при этом величина относительного набухания в условиях свободного набухания (без нагрузки)  $\delta_H \geq 0,04$ . Относительное набухание определяется по выражению

$$\delta_H = \frac{h^1 - h}{h},$$

где  $h$  — начальная высота образца грунта природной влажности;

$h^1$  — высота образца после его свободного набухания в условиях невозможности бокового расширения в результате замачивания до полного водонасыщения.

Набухающие грунты в зависимости от величины относительного набухания без нагрузки подразделяются на слабо набухающие ( $0,04 < \delta_H < 0,08$ ); средненабухающие ( $0,08 < \delta_H < 0,12$ ) и сильно набухающие ( $\delta_H > 0,12$ ).

На территории СССР деформация зданий и сооружений, связанная с сезонными изменениями влажности глинистых пород, проявляется в южных районах УССР, на Черноморском побережье Кавказа, в Поволжье, Азербайджанской ССР, Казахстане и других местах, где у поверхности земли распространены плотные маловлажные глины третичного возраста преимущественно монтмориллонитового состава.

Усадка характеризуется уменьшением объема или длины высыхающего образца (объемная и линейная усадка) и влажностью на пределе усадки.

**Механические свойства рыхлых обломочных пород.** Механические свойства пород определяют их поведение в основании сооружений, откосах выемок, карьеров, котлованов, подземных сооружениях и т. п. Механические свойства пород всецело обуславливаются всей совокупностью их физических свойств и должны изучаться и оцениваться не изолированно, а в комплексе с их физическими свойствами с учетом требований, предъявляемых к породам при проектировании и строительстве конкретных объектов. В строительной практике наибольшее значение имеют механические свойства рыхлых горных пород, которые распространены почти повсеместно; строительство разнообразных объектов, в том числе и капитальных, приходится осуществлять преимущественно на глинах, суглинках, супесях и прочих рыхлых горных породах, в результате чего эти породы и являются основным объектом изучения в строительных целях.

Сопротивление пород сжатию. Степень сжатия и уплотнения пород и явления, происходящие при этом в них,



зависят от вида и структурных особенностей грунтов. Сжатие раздельнозернистых грунтов (песков, гравия, щебенки и т. п.) зависит от степени их плотности, гранулометрического состава и характера внешнего воздействия. При статическом давлении, обусловленном массой сооружений или вышележащей толщей грунтов, уплотнение раздельнозернистых грунтов будет зависеть от перемещения отдельных зерен относительно друг друга (чему препятствует трение, возникающее на поверхности перемещающихся зерен), что происходит сравнительно быстро и почти независимо от влажности, и при тех давлениях, которые практически передаются на грунты от массы возводимых сооружений, сжатие рассматриваемых грунтов сравнительно незначительное. Поэтому как основания сооружений раздельнозернистые грунты являются вполне удовлетворительными. Взаимному перемещению минеральных частичек в раздельнозернистых грунтах оказывают сопротивление преимущественно силы трения, проявляющиеся по поверхности скольжения.

Если же на подобные грунты будут воздействовать динамические знакопеременные нагрузки, то в зависимости в основном от степени их плотности, а также влажности, гранулометрического и минерального состава уплотнение их может быть значительным, что и необходимо заранее предусмотреть.

Сжимаемость связных, или глинистых, пород, занимающих преобладающее положение среди рыхлых грунтов, зависит от сочетания и взаимодействия многих факторов: степени их дисперсности (гранулометрического состава), минерального состава, степени увлажнения, консистенции грунта, характера структурных связей (коагуляционные или конденсационные), характера и скорости приложения нагрузок и др.

Количественно влияние всех указанных факторов в совокупности на степень сжатия глинистых пород достоверно еще не установлено, но качественно определено точно, что и необходимо учитывать при инженерно-строительной оценке связных грунтов.

Сопротивление сжатию рыхлых пород в лабораториях определяется либо в приборах с жесткими стенками — *одеметрах*, что исключает возможность бокового расширения образца грунта, либо в приборах в условиях трехосного сжатия — *стабилометрах*, в которых испытания свойств грунтов более правильно моделируют напряженное их состояние в основании сооружений. В одометрах можно определять только коэффициент уплотнения, модуль общей деформации и коэффициент фильтрации. Испытания же в стабилометрах позволяют комплексно определять показатели механических свойств несвязных и связных грунтов: коэффициент уплотнения, модуль общей деформации, коэффициент бокового давления, коэффициент поперечного расширения (Пуассона), коэффициент внутренне-



го трения, сцепление и коэффициент фильтрации при заданном давлении.

Одометры иначе именуются *компрессионными приборами*. В этих приборах образец грунта помещается в жесткую металлическую обойму. Сверху и снизу образец прикрыт пористыми

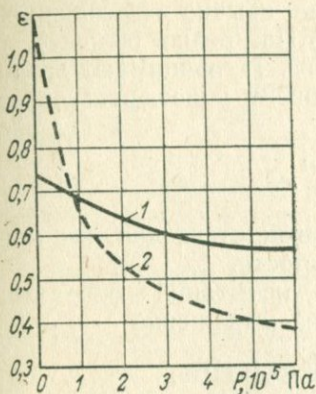


Рис. 6. Компрессионные кривые для образцов.  
1 — естественной структуры; 2 — нарушенной структуры

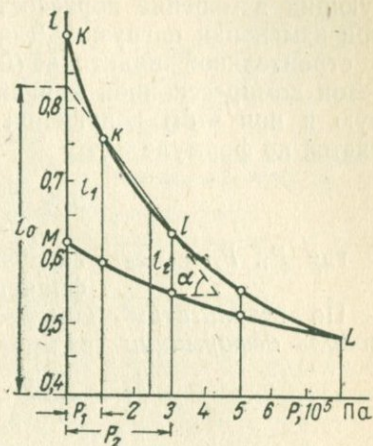


Рис. 7. Схема определения коэффициента уплотнения.

$K-L$  — кривая сжатия;  $M-L$  — кривая разуплотнения;  $e_0$  — коэффициент пористости в естественном состоянии;  $e_1$ ,  $e_2$  — коэффициенты пористости при давлениях  $P_1$  и  $P_2$ ;  $k-l$  — отрезок кривой, условно принимаемый за прямую;  $\alpha$  — угол наклона прямой  $k-l$

пластинками, свободно пропускающими воду, отжимаемую из грунта при его сжатии. При испытаниях водонасыщенных грунтов одометр погружают в сосуд с водой, а при испытаниях не полностью водонасыщенных грунтов его не погружают в воду. Давление на образец передается с помощью рычажного приспособления, на который устанавливается груз. Уплотнение фиксируется при помощи специального индикатора — *мессуры*, регистрирующего изменение высоты образца, что связано с уменьшением пористости грунта.

Многочисленными опытами установлено, что каждому приданному на данную породу давлению соответствует определенная пористость, а при полном насыщении пор водой — и влажность. В настоящее время во всех лабораториях нашей страны принято деформацию образца в компрессионных приборах выражать по изменению их пористости при изменении давления, а не по изменению влажности. Связь между изменением пористости и давлением выражается кривой (рис. 6), называемой *компрессионной кривой сжатия*, или консолидации. Для ее графического построения на оси ординат откладывают



значения коэффициента пористости  $\varepsilon$ , а на оси абсцисс — давление  $P$  в 0,1 МПа.

Важнейшим показателем механических свойств грунтов, получаемым при компрессионных испытаниях, является коэффициент уплотнения, или коэффициент компрессии, характеризующий изменение пористости, а тем самым и объем породы при изменении нагрузки. Для давлений, обычно встречающихся в строительной практике (0,1—0,5 МПа, редко больше), отрезок компрессионной кривой  $k-l$  (рис. 7) принимают за прямую и при этом допущении коэффициент уплотнения определяется по формуле

$$a = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{P_2 - P_1} \text{ Па}^{-1},$$

где  $P_1, P_2, \varepsilon_1, \varepsilon_2$  — нагрузки и соответствующие им коэффициенты пористости.

По результатам компрессионных испытаний определяют модуль деформации (сжимаемости) из выражения

$$E = \left(1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu}\right) \cdot \frac{1 + \varepsilon_0}{a} 0,1 \text{ МПа},$$

где  $\varepsilon_0$  — коэффициент пористости грунта в естественных условиях (начальный коэффициент пористости);

$\mu$  — коэффициент Пуассона (поперечного расширения, берётся обычно из таблиц).

Коэффициент уплотнения и особенно модуль деформации являются важнейшими расчетными показателями. Они входят во все формулы, с помощью которых определяется осадка различных сооружений. Методика подобных расчетов подробно излагается в курсе «Механика грунтов».

Сопротивление грунтов сдвигу. Изучение сопротивления грунтов сдвигающим усилиям имеет большое практическое значение для обоснованного определения несущей способности грунтов основания, оценки устойчивости откосов, расчета давления горных пород на крепь подземных выработок, расчета давления грунта на подпорные сооружения и других инженерных расчетов. Сопротивление сдвигу раздельнозернистых грунтов (песков) определяется сопротивлением трению твердых минеральных частиц по поверхностям скольжения. Связным грунтам присущи преимущественно внутренние структурные связи между минеральными частицами — коагуляционное, конденсационное и отчасти кристаллизационное сцепление, обуславливающее прочность этих пород.

Большинство исследователей считают, что сопротивление всех разновидностей рыхлых грунтов сдвигу обуславливается и трением и сцеплением, только в зависимости от состава грунтов и их физических свойств может преобладать то или другое.

Показатели сопротивления грунта сдвигу определяется раз-

личными способами, среди которых выделяют: 1) по одной или двум заранее фиксированным в сдвиговых приборах плоскостям; 2) путем раздавливания образцов при одноосном и трех-

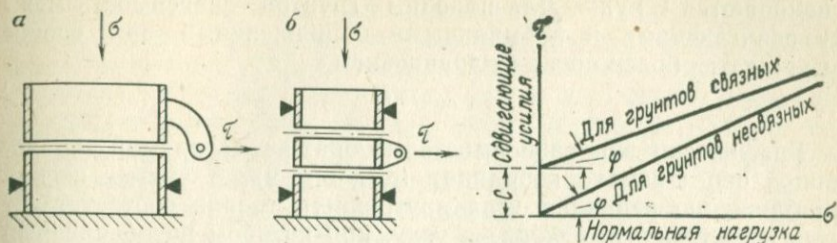


Рис. 8. Схема определения сопротивления грунтов сдвигу:

а — по одной плоскости; б — по двум плоскостям;  $\sigma$  — нормальное давление;  $\tau$  — сдвигающее усилие

Рис. 9. График зависимости сопротивления грунтов сдвигу

осном сжатии; 3) по углу естественного откоса. В практике лабораторных исследований нашей страны чаще используется сдвиг грунта по одной плоскости (рис. 8), для чего существуют самые различные приборы, отличающиеся только конструктивно.

Методика производства опытов по определению сопротивления грунтов сдвигу и описание применяемых при этом приборов излагаются в специальных руководствах [27].

Результаты испытаний выражают в виде графика (рис. 9); на оси абсцисс откладывают нагрузки, а на оси ординат — соответствующие им сдвигающие усилия. Математически сопротивление грунтов сдвигу выражается уравнением К. Кулона:

$$\tau = \sigma \cdot f + C,$$

где  $\tau$  — сопротивление сдвигу, 0,1 МПа;

$\sigma$  — нормальная нагрузка, 0,1 МПа;

$f$  — коэффициент внутреннего трения, равный  $\operatorname{tg} \varphi^\circ$ , где  $\varphi^\circ$  — угол внутреннего трения.

Уравнение показывает, что суммарно сопротивление сдвигу равно нормальному давлению, умноженному на коэффициент внутреннего трения, плюс некоторая постоянная  $C$ , которая свидетельствует, что даже при отсутствии нормального давления необходимо приложить какое-то сдвигающее усилие  $\tau = C$  для достижения сдвига. Силу  $C$ , сопротивляющуюся сдвигу при отсутствии внешней нагрузки, называют сцеплением. Коэффициент внутреннего трения  $f$  и сцепление  $C$  являются важнейшими прочностными показателями и точное определение их является одной из основных задач при инженерно-геологических исследованиях.



В несвязных, бесструктурных, раздельнозернистых (сыпучих) грунтах силы сцепления ничтожны, практически применяемыми в практике приборами не улавливаются и поэтому приравниваются к нулю. Для подобных грунтов зависимость между сдвигающими и нормальными напряжениями при сдвиге выражается более простым уравнением

$$\tau = \sigma \cdot f.$$

Графически эта зависимость изображается прямой, проходящей через начало координат (см. рис. 9). В чистых песках приближенно величина угла внутреннего трения соответствует *углу естественного откоса* — углу, при котором неукрепленный откос песчаного грунта является устойчивым, или углу, образуемому свободно насыпаемым песком. Угол естественного откоса определяется в воздушно-сухом состоянии и под водой в приборах, конструкция которых и методика работы излагаются в специальных руководствах.

**Водные свойства горных пород.** Под водными свойствами горных пород понимаются те, которые проявляются в них при взаимодействии с водой: водопроницаемость, влагоемкость, водоотдача, естественная влажность, набухание, размокание, усадка, липкость, капиллярность, водопоглощение, пластичность и консистенция. Некоторые из этих свойств (влажность, набухание, усадка, липкость, пластичность и консистенция), характеризующие одновременно и физические свойства пород, рассмотрены в § 14.

Водопроницаемость — свойство пород пропускать воду, что обуславливается их пористостью или трещиноватостью. Не всякая порода способна пропускать воду. Глинистые породы, пористость которых почти всегда превосходит пористость песков и нередко равна 60% и выше, практически не пропускают воду и называются *водонепроницаемыми*, или *водоупорными*, в отличие от песков, гравия, щебенки и других пород, свободно пропускающих воду и называемых *водопроницаемыми*. Водоупорными являются также монолитные невыветрелые скальные нетрещиноватые породы.

Водопроницаемость пород количественно характеризуется *коэффициентом фильтрации*, представляющим собой скорость движения подземных вод при гидравлическом градиенте, равном единице (размерность: сантиметр в секунду, метр в час, метр в сутки). Методика определения коэффициента фильтрации изложена в главе IV.

Влагоемкость — способность горных пород вмещать в своих пустотах и удерживать воду при возможности свободного ее вытекания под действием силы тяжести. Различают следующие виды влагоемкости: *полную* (соответствующую полному насыщению всех пустот водой), *капиллярную* (соответствующую количеству воды, заполняющей только капиллярные по-



ры), пленочную, или молекулярную (соответствующую количеству физически связанной воды), и гигроскопическую (соответствующую количеству прочно связанной, адсорбированной воды). Способы определения влагоемкости горных пород изложены в руководствах по методике лабораторных исследований свойств грунтов [27]. По степени влагоемкости горные породы делятся на очень влагоемкие (торф, ил, глина, суглинки), слабовлагоемкие (мел, мергель, лёссовые породы, супеси, мелкозернистые пески) и невлагоемкие (скальные породы, галечники, гравий, крупнозернистые пески).

Водоотдача — свойство пород, насыщенных водой, свободно отдавать гравитационную воду. Количественно объемная водоотдача выражается отношением объема свободно вытекающей из породы воды (при начальном полном заполнении пор или трещин) к объему всей породы. Для крупнозернистых песков, гравия и им подобных пород водоотдача равна их пористости (объемная водоотдача) или полной влагоемкости (весовая водоотдача). Водоотдача мелкозернистых песков, супесей и суглинков значительно меньше и равна разности между полной влагоемкостью и максимальной молекулярной влагоемкостью. Величина водоотдачи используется при решении вопросов осушения заболоченных территорий, дренирования выемок, определения притоков воды в котлованы и горные выработки и решения ряда других задач.

Физико-математические свойства горных пород определяют либо в лабораторных условиях на образцах, отобранных в шурфах или скважинах, либо же непосредственно в поле в условиях естественного залегания пород. Методика лабораторных и полевых исследований свойств пород разнообразна и излагается в специальных руководствах (В. Д. Ломтадзе, Е. Г. Чаповского и др.).

## § 15. Инженерно-геологическая классификация пород

Во всех областях научных знаний изучаемые процессы и явления классифицируются по общности присущих им признаков. Практическая целесообразность классификации является весьма нужной и полезной, она позволяет систематизировать и обобщать сумму имеющихся знаний по изучаемым данной наукой объектам. При наличии классификации можно достаточно правильно отнести изучаемый объект к тому или иному классу, чтобы получить более или менее определенное представление о его свойствах, характерных для того класса, к которому отнесен изучаемый объект.

Горные породы, рассматриваемые и классифицируемые как грунты, весьма разнообразны по условиям образования (генезису), вещественному составу, физико-механическим показателям и другим свойствам.



При изучении грунтов для строительства тех или иных сооружений важнейшими их свойствами является прочность, характеризующаяся деформационными и прочностными показателями, а при строительстве гидротехнических сооружений и нередко других наземных объектов фильтрационные особенности горных пород.

Эти важнейшие строительные качества грунтов определяются комплексным сочетанием самых разнообразных признаков, в совокупности придающих данному классу грунтов важные в строительном отношении свойства.

Главные расчетные характеристики — деформационные, прочностные и фильтрационные — именуется *прямыми*; их нахождение является сложной и дорогостоящей задачей. Но обработка методами математической статистики огромного фактического материала инженерно-геологических исследований, проведенных в СССР за десятилетия, позволила установить наличие корреляционной (статистической) зависимости между прямыми и многими физическими классификационными характеристиками грунтов, именуемых *косвенными*, легко и просто определяемыми.

Установление корреляционной зависимости между классификационными и расчетными показателями во многих случаях исключает необходимость определять расчетные характеристики дорогостоящими методами при инженерно-геологических изысканиях для объектов массового строительства — сооружений II—IV классов.

Корреляционная связь между прямыми, *нормативными* (расчетными) и косвенными показателями отражена в СНиПе II-A, 10—71, утвержденном Госстроем СССР.

Согласно указанному СНиПу, нормативное значение характеристик грунтов устанавливаются на основе данных непосредственных определений при инженерных изысканиях, выполняемых для проектируемого объекта (обычно дорогостоящего), или же по значениям этих характеристик, определяемых на основе статистической обработки результатов массовых испытаний.

В «Рекомендациях по производству инженерно-геологической съемки при инженерных изысканиях для строительства», разработанных ПНИИИС Госстроя СССР, оценка деформационных и прочностных показателей устанавливается по корреляционным зависимостям с классификационными показателями по СНиПу II 15—74, и расчет оснований зданий и сооружений II—IV классов можно производить, используя эти среднестатистические расчетные показатели.

Подразделение грунтов на различные классы по их строительнотехническим свойствам имеет весьма существенное значение, оно облегчает выбор конструкции сооружения, типа фундамента, определения несущих свойств грунтов, способа



расчета осадок сооружений (конечных и во времени), прогноз поведения сооружения, выбор наиболее рациональной технологии производства земляных работ и решения других практических задач.

Как уже указывалось, единой, общепринятой инженерно-геологической классификации горных пород не существует. Для практических целей используются классификации, приведенные в СНиПах. В них дается номенклатура грунтов, выделяемых по следующим признакам: 1) наличию жестких структурных связей и прочности (для скальных пород); 2) степени дисперсности, плотности и влажности (для сыпучих, раздельнозернистых нескальных грунтов); 3) пластичности и консистенции (для связных или глинистых грунтов); 4) изменению объема при увлажнении (просадочные грунты). В этих классификациях учитываются наиболее характерные особенности грунтов, установленные практикой и важные для строительства, в чем их преимущество по сравнению с общими классификациями. Они постоянно уточняются и улучшаются в соответствии с новыми достижениями науки и практики.

Современные строительные классификации грунтов основаны на вполне конкретных количественных, хотя часто приближенных и косвенных показателях, ими пользуются строители самых различных специальностей.

По СНиПу II 15—74 грунты подразделяются на: 1) *скальные* — изверженные, метаморфические и осадочные породы с жесткой связью между зернами (с конденсационными и кристаллизационными структурными связями), залегающие в виде сплошного массива или трещиноватого слоя, образующего подобие сухой кладки; в пределах каждой группы выделяются разновидности по петрографическому составу (граниты, габбро, гнейсы, известняки, песчаники и т. д.); 2) *крупнообломочные* — несцементированные грунты, содержащие более 50% по весу обломков (кристаллических или осадочных пород) с размером частиц крупнее 2 мм; 3) *песчаные* — сыпучие в сухом состоянии грунты, не обладающие свойством пластичности ( $I_p < 0,01$ ), содержащие менее 50% по весу частиц крупнее 2 мм; 4) *глинистые* — связанные грунты, для которых число пластичности  $I_p > 0,17$ ; 5) породы свободного состава и состояния (насыпные, намывные и др.).

Крупнообломочные, песчаные и особого состава глинистые грунты по СНиПу именуется также *нескальными*.

Скальные грунты подразделяются на отдельные виды по временному сопротивлению сжатию в водонасыщенном состоянии, растворимости и размягчаемости их в воде. Размягчаемыми называются скальные грунты, у которых коэффициент размягчаемости (отношение временных сопротивлений одноосному сжатию в насыщенном водой и в воздушно-сухом состоянии) меньше 0,75.



Скальные грунты, обладающие временным сопротивлением сжатию в водонасыщенном состоянии менее 5 МПа, называются *полускальными*.

В глинистых грунтах выделяют *илы*, под которыми понимают тонкозернистый водонасыщенный неконсолидированный осадок современных водоемов. Илы — начальная стадия формирования глинистых пород. В природном состоянии они имеют влажность, превышающую влажность на пределе текучести. Илы подразделяются на следующие виды (табл. 8).

Таблица 8

Виды илов	Коэффициент пористости	Число пластичности $I_p$
Супесчаный	$\geq 0,9$	0,03—0,07
Суглинистый	$\geq 1,0$	0,07—0,17
Глинистый	$\geq 1,5$	0,17

В глинистых грунтах выделяют просадочные грунты, которые при замачивании дают дополнительную осадку — *просадку*, характеризуемую величиной относительной просадочности  $\delta_{п} \geq 0,01$ , определяемой по выражению

$$\delta_{п} = \frac{h - h^1}{h_0},$$

где  $h$  — высота образца грунта природной влажности, обжатого без возможности бокового расширения давлением  $P$ , равным давлению от собственной массы или сумме давлений от нагрузки на фундамент и собственной массы грунта на рассматриваемой глубине;

$h^1$  — высота того же образца после замачивания до полного водонасыщения при сохранении давления  $P$ ;

$h_0$  — высота того же образца природной влажности, обжатого давлением, равным давлению от собственной массы.

В зависимости от величины  $\delta_{п}$  и величины действующего на грунт давления просадочные грунты подразделяются на следующие виды (табл. 9).

Грунты всех видов называются *мерзлыми*, если они содержат в своем составе лед при отрицательной или нулевой температуре, *вечномерзлыми*, если они в продолжение многих лет не подвергались сезонному оттаиванию. Свойства мерзлых и вечномерзлых грунтов определяются физико-механическими показателями, принятыми для талых грунтов, и дополнительными, подробно охарактеризованными в СНиПе II-Б, 6—66.



В зависимости от содержания растительных остатков песчаным и глинистым грунтам присваиваются дополнительные наименования; при содержании растительных остатков меньше

Таблица 9

Наименование грунтов по степени просадочности	Относительная просадочность $\delta_{II}$ при давлении $P$ , 0,1 МПа		
	Слабопросадочные	0,001—0,0015	0,001—0,002
Среднепросадочные	0,0015—0,003	0,002—0,005	0,003—0,007
Сильнопросадочные]	>0,003	>0,005	>0,007

10% — *грунты с примесью органических веществ*; 10—30% — *слабозаторфованные грунты*; 31—60% — *сильнозаторфованные*; при содержании растительных остатков свыше 60% — *торфы*.

### § 16. Искусственное изменение свойств грунтов — техническая мелиорация грунтов

Строительство тех или иных объектов приходится иногда осуществлять в неблагоприятных природных условиях.

Для устранения неблагоприятного воздействия природных факторов на условия строительства и затем при эксплуатации возведенных сооружений в настоящее время широко применяются различные искусственные мероприятия, существенно изменяющие природные условия в нужном для строительных целей направлении. Способы искусственного воздействия (ныне их насчитывается много десятков) выбираются в зависимости от типа грунтов, их свойств, геолого-гидрогеологических условий строительной площадки, типа сооружений и окончательно устанавливаются путем технико-экономических подсчетов.

В настоящее время разработаны и применяются самые разнообразные способы искусственного изменения свойств грунтов в строительных целях. Одни методы коренным образом изменяют свойства грунтов на длительный срок, другие — на короткий срок, необходимый только для производства строительных работ. Ниже описываются методы технической мелиорации грунтов, наиболее широко применяемые в нашей стране.

Цементация применяется в основном для мелиорации трещиноватых и кавернозных скальных пород и песчано-гравелистых грунтов с коэффициентом фильтрации от 2 до 500 м/сут. Для цементации разработана рецептура цементно-песчаных, глинисто-силикатных и алюмосиликатных тампонажных растворов. Цементация осуществляется путем нагнетания тампонажных растворов в грунт через инъекторы, смонтированные в пробуренных скважинах.



Методом цементации достигается существенное уменьшение водопроницаемости пород, основанию сооружений придается достаточная механическая прочность, уменьшается опасность механической и химической суффозии, достигается прочное водонепроницаемое сопряжение подошвы фундамента сооружений с грунтовым основанием. У нас в стране цементация широко применяется при строительстве гидротехнических сооружений — плотин, шлюзов, зданий ГЭС и т. п., при проходке стволов шахт, строительстве подземных сооружений и других объектов.

Силикатизация основана на инъекции в грунты жидкого стекла и какого-либо реагента (обычно хлористого кальция); в результате взаимодействия жидкого стекла и реагента в порах грунтов и трещинах горных пород выпадает быстро твердеющий гель кремнекислоты, заполняющий поры и трещины и цементирующий грунт. Способом силикатизации последним придаются долговечная механическая прочность и водонепроницаемость. Силикатизация с успехом применяется для увеличения несущей способности грунтов в основании сооружений, для защиты котлованов от притока подземных вод, создания водонепроницаемых завес в основании гидротехнических сооружений, для борьбы с притоками подземных вод в шахты, метрополитены, тоннели и другие подземные сооружения.

Смолизация аналогична силикатизации, только гелеобразующей смесью являются синтетическая смола и отвердитель, нагнетаемые в грунты. Водный раствор гелеобразующей смеси обладает малой вязкостью, что обеспечивает хорошее ее проникновение в сухие и водонасыщенные мелкозернистые грунты с коэффициентом фильтрации от 0,02 до 5 м/сут. Через заданный промежуток времени после нагнетания (несколько часов) гелеобразующая смесь при взаимодействии с отвердителем превращается в твердеющий гель.

Смолизация придает слабым грунтам значительную прочность (1—6 МПа и выше), водо- и морозоустойчивость, водонепроницаемость, лёссовые грунты теряют просадочные свойства, пльвуны превращаются в монолитную прочную водоустойчивую массу.

Горячая битумизация. Суть этого способа мелиорации сводится к нагнетанию специальными насосами в трещиноватые скальные породы расплавленного битума, который по крупным трещинам проникает на значительное расстояние, иногда до 100 м. Этим способом достигается создание водонепроницаемых завес, уменьшается опасность механической и химической суффозии. Горячая битумизация применяется в случаях, когда более дешевые способы мелиорации — глиноцементация и др. — вследствие значительной скорости движения подземных вод по крупным трещинам неприменимы. Горячая битумизация применяется для сокращения потерь воды



на инфильтрацию в основании плотины и в обход ее плеч, для защиты котлованов от притока в них подземных вод, для борьбы с притоком воды в стволы шахт и другие подземные выработки, для создания гидроизоляции в метрополитенах и тоннелях путем нагнетания горячего битума за их отделку.

**Холодная битумизация.** При этом способе в породы (мелкотрещиноватые скальные или раздельнозернистые рыхлые), коэффициент фильтрации которых изменяется в пределах 10—100 м/сут, нагнетаются битумная эмульсия (вода + мелкодисперсный битум, диспергированный до размеров 1—30 мкм), а затем какой-либо коагулянт (обычно хлористый кальций). Выпадающий при коагуляции битум заполняет 40—75% пор и трещин в породах, и тем самым водопроницаемость их значительно уменьшается.

**Термическое укрепление.** Этот способ разработан для мелиорации лёссовых пород, широко распространенных в природе и служащих основанием для различных наземных сооружений. В целях устранения просадочности лёссовых пород в них через скважины подается горячая смесь, сжигаемая в толще пород. Одновременно в грунт нагнетается под избыточным давлением (до  $0,5 \cdot 10^5$  Па) воздух. Образующиеся при сжигании газообразные продукты нагревают породу до 700—900°C, и через пять-шесть суток непрерывного действия установки вокруг каждой скважины образуется однородный массив кирпичеобразного вида красноватого цвета диаметром 1,5—3 м, своего рода *термосвая*. Лёссы приобретают водостойкость, теряют присущие им просадочные свойства, прочность их значительно возрастает; временное сопротивление на раздавливание достигает 2 МПа и выше.

**Электрохимические способы мелиорации грунтов.** Строительство самых разнообразных объектов в нашей стране часто приходится осуществлять на слабых водонасыщенных глинистых и илистых грунтах, обладающих очень низкими физико-механическими свойствами, что затрудняет и удорожает строительство и одновременно не предотвращает сооружения от различных деформаций, а это приводит к дополнительным затратам на их содержание. Улучшение свойств подобных грунтов методами осушения или инъекции в них вяжущих растворов не дает нужного эффекта из-за низких фильтрационных свойств, свойственных глинистым и илистым грунтам. Способом, позволяющим существенно изменить свойства глинистых грунтов с коэффициентом фильтрации менее 0,1 м/сут, является обработка их постоянным электрическим током, под влиянием которого в грунтах протекают сложные физико-химические процессы; в итоге грунты обезвоживаются и приобретают значительную механическую прочность.

Теоретические соображения и опыт производственного применения дают основание рекомендовать применение электрохи-



мического способа мелиорации глинистых и илистых грунтов в следующих случаях: для упрочнения грунтов в основаниях сооружений, в том числе и насыпей (проектируемых и уже существующих); для усиления несущих свойств свайных фундаментов; для укрепления грунтов в земляных сооружениях (оснований площадки земляного полотна, откосов выемок и насыпей, для борьбы с пучением); для закрепления грунтов при проходке подземных выработок; для закрепления стенок буровых скважин; для предпостроечного осушения грунтов при проходке траншей, выработок и устройстве котлованов.

При обработке слабых водонасыщенных глинистых грунтов электротоком в них вместо коагуляционно-тиксотропных\* непрочных структурных связей образуются прочные водостойкие конденсационно-кристаллизационные необратимые структурные связи, что и придает обработанным грунтам значительную механическую прочность.

Замораживание применяется в целях придания породам временной водонепроницаемости и прочности. Преимуществом этого способа является то, что он применим к любым породам. Недостатками его являются временный характер закрепления, длительность процесса (до нескольких месяцев) и необходимость применять громоздкое оборудование. Способ замораживания сводится к следующему: через специально пробуренные скважины нагнетается охлажденная жидкость, которая должна циркулировать непрерывно. В результате вокруг замораживающей скважины постепенно создается ледопородный цилиндр. Слиянием соседних цилиндров вокруг ствола шахты, котлована или другой подземной выработки создается прочная водонепроницаемая стенка, под защитой которой и осуществляются затем все строительные работы по сооружению подземного объекта. Замораживающая установка состоит из системы трубопроводов, в которых совершается круговое движение рассола. В качестве холодоносителя обычно применяют раствор хлористого кальция с температурой замерзания минус 21—55°C.

### Глава III

## ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

### § 17. Виды передвижения воды в породах

Передвижение воды в горных породах зависит в основном от их водных свойств и степени насыщенности водой. Передви-

\* Тиксотропия — способность грунтов при механическом воздействии разрушаться с последующим восстановлением их свойств после прекращения механического воздействия.



жение подземных вод можно подразделить на два вида: гравитационное и негравитационное. Первый вид движения имеет место в порах рыхлых раздельнозернистых горных пород, в трещинах трещиноватых пород и в порах сцементированных пород при наличии разности напоров и обусловлен действием силы тяжести. Второй вид движения характерен для физически связанной и капиллярной влаги. Он присущ мелкодисперсным (глинистым) породам и обусловлен действием различных факторов.

Негравитационное движение воды возникает при наличии разной упругости водяного пара, разности в толщине пленок физически связанной воды, разности в диаметре пор, разности температур, различий в минеральном составе пород (различная гидрофильность минералов), разности концентрации порового раствора и других факторов. Передвижение водяного пара происходит вместе с воздухом от мест с более высокой температурой и большим давлением к местам с меньшим давлением и более низкой температурой или самостоятельно при наличии разности упругости водяного пара в сторону меньшей упругости и температуры. При достижении точки росы воздуха водяной пар конденсируется и переходит в жидкое состояние.

Гигроскопическая вода передвигается от более влажных пород к менее влажным, переходя в парообразное состояние.

Пленочная вода, удерживаемая на поверхности частиц силами молекулярного притяжения, передвигается от мест с более толстой пленкой до уравнивания сил молекулярного притяжения. Количество физически связанной влаги в породах при прочих равных условиях зависит от гранулометрического и минерального состава пород. Глинистые породы монтмориллонитового состава способны отбирать влагу с находящихся рядом более крупнозернистых и иного минерального состава пород независимо от их залегания.

Глинистые породы в южных районах содержат обычно легкорастворимые соли, концентрация которых в разных местах различна. Это обуславливает передвижение воды к местам с более высокой концентрацией солей. Передвижение влаги происходит и в случае, если концентрация порового раствора в разных местах различная; ток воды направляется в сторону раствора более высокой концентрации.

Негравитационное движение физически связанной воды получило наименование *миграции влаги* и играет большую роль в распределении естественной влажности рыхлых пород в зоне аэрации. Скорость миграции обычно мала.

Капиллярная вода передвигается в зоне капиллярного поднятия, расположенной на границе насыщенных и ненасыщенных пород, под влиянием сил поверхностного натяжения. Верхняя граница зоны капиллярного поднятия подвержена вер-



тикальным колебаниям и зависит от изменения уровня грунтовых вод.

Гравитационное передвижение воды. Свободно просачивающейся, или инфильтрующейся, водой называют часть атмосферных осадков, просачивающихся вниз небольшими порциями, отдельными разрозненными струями или каплями в зоне аэрации под действием силы тяжести. Этот вид движения воды называется *гравитационным*. Передвижение подземных вод ниже их зеркала, в зоне насыщения, носит название *фильтрации*. В гидрогеологии изучается главным образом этот вид передвижения подземных вод.

Раздел гидрогеологии, изучающий закономерности движения подземных вод под влиянием естественных или искусственных факторов в зоне полного насыщения пород водой, называется *динамикой подземных вод*. Начало изучению законов движения подземных вод было положено работами французского гидравлика А. Дарси в 1856 г., который установил основной линейный закон фильтрации в пористой среде, названный его именем, и ввел понятие о коэффициенте фильтрации.

Различают *установившееся* и *неустановившееся* движения подземных вод. При установившемся движении параметры потока (мощность, напорный градиент и расход) в любом сечении не изменяются во времени. Для неустановившегося движения характерно изменение указанных параметров потока во времени. Различают также *равномерное* движение, при котором скорость его во всех сечениях одинакова, и *неравномерное*, характеризующееся изменением скорости по пути потока. Движение подземных вод всегда является неустановившимся. Однако, когда условия питания и разгрузки подземных вод мало изменяются во времени, движение их рассматривается как установившееся, что значительно упрощает гидрогеологические расчеты.

## § 18. Основные законы движения подземных вод

При полном насыщении пустот в горных породах водой передвижение, или фильтрация, ее в водонасыщенных пластах происходит под влиянием разности напоров от мест с более высокими уровнями к местам с более низкими уровнями. Различают безнапорную и напорную фильтрацию. *Безнапорная фильтрация* присуща грунтовым водам, когда поверхность фильтрующейся воды всегда является свободной, давление на нее постоянно и равно атмосферному. *Напорная фильтрация* свойственна артезианским водоносным горизонтам, вода в которых всегда находится под давлением, превышающим атмосферное.

Безнапорное движение подземных (грунтовых) вод происходит при наличии разности уровня их в двух сечениях

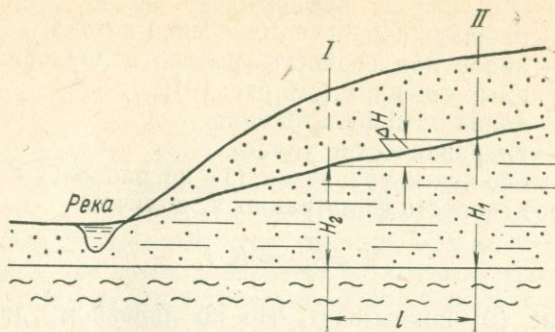


Рис. 10. Схема безнапорной фильтрации

(рис. 10). Разность уровней  $\Delta H = H_1 - H_2$  в сечениях I и II обуславливает движение воды в направлении сечения II.

Скорость движения подземного потока зависит от разности напора  $\Delta H$  (чем больше  $\Delta H$ , тем больше скорость) и длины пути фильтрации  $l$  (чем меньше  $l$  при том же значении  $\Delta H$ , тем больше скорость).

Отношение разности напора  $\Delta H$  к длине пути фильтрации  $l$  называется гидравлическим уклоном, или гидравлическим градиентом, и обозначается

$$I = \frac{\Delta H}{l}.$$

Линейный закон фильтрации (закон Дарси). Движение подземного потока в пористых породах (в песке, супеси, суглинке) имеет параллельно-струйчатый, или ламинарный, характер, т. е. без разрывов и пульсации, с плавным изменением скорости, и подчиняется закону Дарси. Как показали исследования Н. Н. Павловского, Г. Н. Каменского, Н. К. Гириного, С. В. Троянского и др., ламинарный характер движения наблюдается также в трещиноватых породах и кавернозных известняках при скоростях, не превышающих 300—400 м/сут. В реальных условиях движение подземных вод следует рассматривать как подчиняющееся линейному закону фильтрации.

Основной закон фильтрации — закон Дарси — выражается формулой

$$Q = K \cdot F \frac{\Delta H}{l} = K \cdot F \cdot I, \quad (1)$$

где  $Q$  — расход воды (количество фильтрующейся воды в единицу времени);

$K$  — постоянная величина для данной породы, характеризующая ее водопроницаемость; эта величина называется коэффициентом фильтрации, или водопроницаемостью;



$F$  — площадь поперечного сечения потока;  
 $\Delta H$  — напор или разность уровней в двух рассматриваемых сечениях (см. рис. 10);

$l$  — длина пути фильтрации;

$I$  — гидравлический уклон.

Разделив обе части уравнения (1) на площадь  $F$ , и обозначив  $Q/F$  через скорость фильтрации  $V$ , получим

$$V = \frac{Q}{F} = K \cdot I. \quad (2)$$

Уравнение (2) показывает, что по линейному закону (при ламинарном движении) скорость фильтрации пропорциональна напорному градиенту в первой степени.

Если принять  $I=1$ , то по уравнению (2) получим, что  $V=K$ , т. е. при напорном градиенте, равном единице, коэффициент фильтрации численно равен скорости фильтрации; его размерность та же, что и скорости (м/сут, м/с, см/с).

Скорость фильтрации не представляет собой действительной скорости движения воды в порах или трещинах; это *кажущаяся*, или *приведенная*, величина скорости, отнесенная ко всему поперечному сечению фильтрующейся породы. С этой скоростью вода двигалась бы в том случае, если бы она занимала все сечение  $F$ , как в открытых каналах или трубах. В действительности при фильтрации в горных породах вода течет только через часть сечения  $F$ , равную площади пор и трещин, другая же часть этого сечения занята зернами породы.

Действительную скорость движения воды  $U$  получают делением расхода  $Q$  на действительную площадь фильтрующего сечения, которая равна площади всего сечения фильтрующей поверхности, умноженной на площадь пор, т. е. на пористость в долях единицы  $n$ :

$$U = \frac{Q}{Fn}. \quad (3)$$

Сопоставляя уравнения (2) и (3), получим

$$V = U \cdot n \text{ и } U = \frac{V}{n}. \quad (4)$$

Так как пористость всегда меньше единицы, то скорость фильтрации всегда меньше действительной скорости движения воды в породах примерно в 3—4 раза.

**Нелинейный закон фильтрации.** В грубообломочных и особенно сильнотрещиноватых скальных породах при наличии крупных пустот и трещин, имеющих большую протяженность, движение подземных вод носит характер движения воды по каналам и трубам. Это движение имеет *вихревой*, или *турбулентный* вид. Оно характеризуется большими скоростями, вихреобразностью, пульсацией и перемешиванием отдельных струек воды.



Нелинейный закон фильтрации выражается формулой Краснопольского

$$V = K \cdot \sqrt{I},$$

где  $K$  — коэффициент фильтрации породы;  
 $I$  — гидравлический уклон.

В приведенных уравнениях, характеризующих движение подземных вод по горным породам, одной из основных расчетных характеристик является коэффициент фильтрации или водопроницаемости. Поэтому при гидрогеологических исследованиях определение водопроницаемости горных пород является одной из наиболее ответственных задач. Способы определения коэффициента фильтрации изложены в главе IV.

### § 19. Определение направления и скорости движения подземных вод

Фактически движение подземных вод в порах и трещинах горных пород происходит с различной скоростью; где поры или трещины крупнее или где гидравлический уклон больше, там скорость движения также больше; в центральной части пор и трещин скорость перемещения воды большая, нежели у поверхности частиц. Поэтому при рассмотрении вопросов о движении подземных вод можно говорить лишь о *средней скорости* движения воды в пределах данной породы и при данном гидравлическом уклоне.

Определение действительной скорости движения подземных вод, а также направления движения при естественных уклонах проводится в полевых условиях. Для этой цели используются различные индикаторы, которые изменяют либо цвет, либо химический состав, либо электропроводность подземных вод. В качестве индикаторов используют вещества, ясно обнаруживаемые в воде, не вступающие в реакцию с веществами, находящимися в воде; этим требованиям удовлетворяют хорошо растворимые хлористые соли натрия, лития, нашатырь, некоторые красители, радиоактивные вещества и др. Перед определением действительной скорости движения подземных вод участок, где намечается провести опытные работы, должен быть изучен в геологическом и гидрогеологическом отношениях и определен химический состав подземных вод.

Для проведения опыта на выбранной площадке проходится шурф или бурится скважина, в которые затем запускается индикатор; эти выработки именуется *пусковыми*, или *опытными*. Для улавливания индикаторов вниз по течению устраиваются *улавливающие*, или *наблюдательные*, выработки, которые обычно располагаются по направлению потока веерообразно (по три — пять штук).

До закладки пусковой и улавливающих скважин устанавливается общее направление движения подземных вод на опыт-



ном участке по карте гидроизогипс (при ее наличии) или нивелированием уровня воды по трем скважинам.

Расстояние между пусковыми и улавливающими выработками выбирают в зависимости от гранулометрического состава опробуемого водоносного горизонта; в супесях, лёссовидных суглинках и т. п., это расстояние равно 0,5—1,5 м, в мелкозернистых песках 1—2 м, в крупнозернистых 2—5 м, в трещиноватых 5—10 м, в закарстованных породах не менее 10 м. Расстояние между улавливающими выработками равно 0,5—0,75 м для слабопроницаемых пород и 1—1,5 м для более водопроницаемых.

Зная расстояние между опытной и наблюдательной выработками  $l$ , время максимума индикаторной кривой  $t'_2$  среднюю действительную скорость движения потока определяют по формуле

$$U = \frac{l}{t'_2}$$

Зная действительную скорость движения воды  $U$  и уклон  $I$ , можно из уравнения (4) вычислить скорость фильтрации  $V = U \cdot n$ , а затем определить коэффициент фильтрации

$$K = \frac{V}{I} = \frac{U \cdot n}{I}$$

Существует несколько методов обнаружения индикаторов в воде наблюдательных скважин. Из них чаще применяются химический, колориметрический, электролитический и геофизический.

Химический метод целесообразно применять при неглубоком залегании водоносного слоя; основан он на применении в качестве индикатора иона хлора, вводимого в опытную скважину в виде раствора поваренной соли, либо хлористого аммония или хлористого лития. До начала опыта определяют содержание ионов хлора в подземной воде в естественных условиях и изменение этой концентрации примерно в течение суток, для чего проводят отбор проб воды из опытной и наблюдательных выработок через каждые 2—3 ч.

После загрузки раствора из наблюдательных скважин отбирают пробы воды вначале через 2—5 ч (в зависимости от характера водопроницаемости пород), а затем через 15—30 мин. Отобранные пробы здесь же в поле титруют раствором азотнокислого серебра. Результаты определения концентрации ионов хлора изображают в виде графика (рис. 11). Отбор проб воды проводят до наступления перелома в сторону уменьшения концентрации индикатора после максимума. В зависимости от целей гидрогеологических исследований с графика (см. рис. 11) берут либо значение  $t'_2$  (при расчете потерь

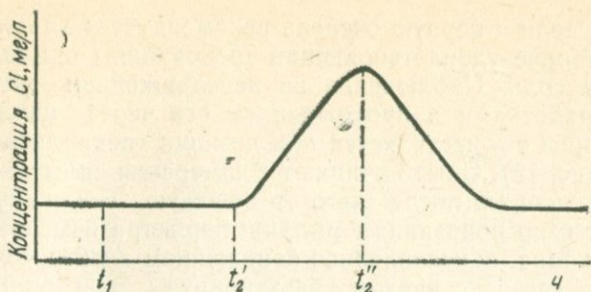


Рис. 11. График изменения концентрации иона хлора в подземных водах:

$t_1$  — время введения соли;  $t_2'$  и  $t_2''$  — соответственно время начала повышения концентрации иона хлора и его максимальной концентрации

из водохранилищ), либо  $t_2''$  (при исследованиях для целей водоснабжения).

Колориметрический метод основан на использовании в качестве индикаторов красящих веществ. В щелочных водах применяются флуоресцеин, эозин, эритрозин, красное конго, флуоратрен; в кислых — металеновая синька, анилиновая голубая, конго красная; в нейтральных — все перечисленные.

Красящие вещества растворяются либо в щелочи (нашатырный спирт), либо в слабой кислоте (уксусной). Взятие проб воды в наблюдательных скважинах проводится в том же порядке, что и при химическом методе; только первую пробу берут сразу же после запуска краски. Испытуемую пробу воды в пробирке помещают в прибор флуороскоп, представляющий собой ящик со стандартными образцами проб воды, с которыми и сравнивается вода, отобранная из наблюдательных скважин. Результаты обрабатываются в виде графиков (см. рис. 11).

Электролитический метод является разновидностью химического, только при этом определяется изменение электропроводности подземных вод, увеличивающейся при введении солей (электролитов).

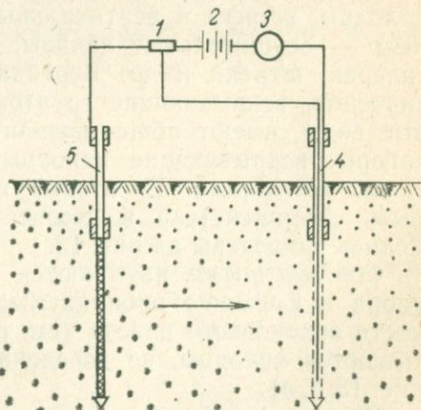


Рис. 12. Схема установки для определения скорости движения подземных вод электролитическим способом.

1 — реостат; 2 — источник тока; 3 — миллиамперметр; 4 — наблюдательная скважина; 5 — пусковая скважина



В качестве соли в первую очередь рекомендуется хлористый аммоний, наиболее удовлетворяющий требованиям опыта, а затем поваренная соль. Наблюдения за передвижением электролита между выработками и прохождением его через наблюдательные скважины осуществляется при помощи специального оборудования (рис. 12). Опыт начинают с измерения силы тока в естественных условиях, после чего в опытную скважину вводят электролит и по показаниям миллиамперметра измеряют увеличение силы тока, обусловленное понижением электросопротивления воды в связи с вводом электролита. Электролитический способ применим только для маломинерализованных вод. Обработка результатов проводится, как и при описанных способах; на ординате откладывают силу тока в амперах.

**Геофизические методы.** В последнее время все большее распространение получают геофизические методы определения скорости и направления движения подземных вод, которые дают точные результаты при невысокой минерализации подземных вод.

Новейшие достижения физики дали возможность определять направление движения подземных вод и скорости их движения с помощью радиоактивных изотопов, для чего применяется преимущественно тритий, который обнаруживается в подземных водах в ничтожнейших количествах; при гидрогеологических исследованиях радиоактивные изотопы применяются еще редко.

## § 20. Приток воды к водозаборным сооружениям

Теория движения подземных вод к водозаборным сооружениям разработана применительно к определению притока воды к вертикальным и горизонтальным водозаборам.

К вертикальным водозаборам относятся буровые скважины, колодцы, шурфы и вертикальные стволы шахт, к горизонтальным — осушительные каналы, закрытые дренажи, каптажные галереи, штреки и др. Вертикальные водозаборы любого назначения, вскрывающие грунтовые и безнапорные межпластовые воды, имеют общее название *грунтовые колодцы*, а водозаборы, вскрывающие напорные воды, называются *артезианскими колодцами*. Грунтовые и артезианские колодцы могут быть совершенными и несовершенными. Типы грунтовых колодцев приведены на рис. 13.

*Совершенными* называются колодцы, доведенные до водопора и имеющие проницаемые стенки в пределах всей мощности водоносного пласта (см. рис. 13, а). *Несовершенными* называются колодцы, не доведенные до водопорного ложа (см. рис. 13, б, в).

Грунтовый совершенный колодец. Если из грунтового совершенного колодца проводить откачку воды, то уро-



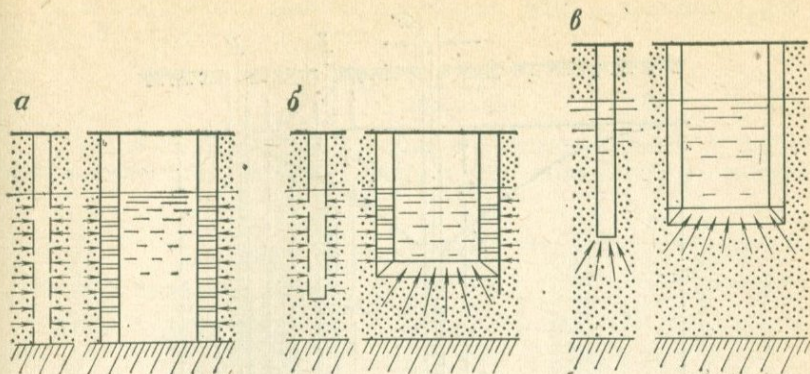


Рис. 13. Типы грунтовых колодцев:

*a* — совершенные колодцы; *б* — несовершенные колодцы с проницаемыми стенками и дном; *в* — несовершенные колодцы с проницаемым дном

вень воды в колодце начнет понижаться, а водоносный пласт около колодца будет осушаться. В результате при понижении уровня воды в колодце на величину  $S$  около него образуется пониженная поверхность грунтовых вод, имеющая форму воронки радиусом  $R$ , называемая *депресссионной* (рис. 14); ось ее совпадает с осью колодца.

Если в пределах депрессионной воронки на расстоянии  $x$  от центра колодца провести сечение, то площадь  $F$  этого цилиндрического сечения с ординатой  $y$  будет равна

$$F = 2\pi \cdot x \cdot y.$$

Согласно линейному закону фильтрации расход воды в сечении  $F$  равен

$$Q = F \cdot K \cdot I.$$

Гидравлический градиент (уклон кривой депрессии) в дифференциальной форме

$$I = \frac{dy}{dx}.$$

Следовательно,

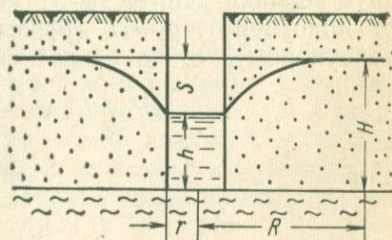


Рис. 14. Схема депрессионной кривой грунтового колодца



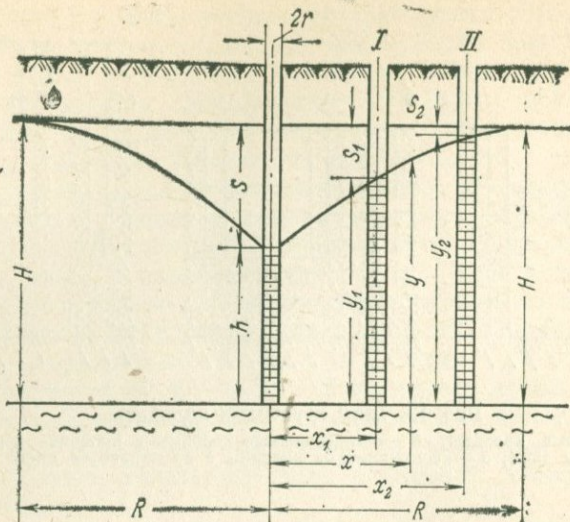


Рис. 15. Расчетная схема для определения дебита грунтового колодца

$$Q = 2\pi \cdot x \cdot y \cdot K \frac{dy}{dx}.$$

Разделяя переменные и интегрируя в пределах от сечения I до сечения II (рис. 15)

$$\frac{Q}{2\pi K} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{x} = \int_{y_1}^{y_2} y dy,$$

получим

$$\frac{Q}{2\pi K} \ln \frac{x_2}{x_1} = y_2^2 - y_1^2. \quad (5)$$

Полученное уравнение представляет собой уравнение кривой депрессии при откачке воды из совершенного колодца, оно было выведено Дюпюи в 1968 г.

Если принять  $x_1 = r$  (радиус фильтра колодца),  $x_2 = R$  (радиус воронки депрессии),  $y_1 = h$  (столб воды в колодце, считая от водоупора),  $y_2 = H$  (превышение статического уровня над водоупором), то на основе формулы (5) получим

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi K} (\ln R - \ln r)$$

или

$$Q = \pi K \frac{H^2 - h^2}{\ln R - \ln r}.$$

Если обозначить понижение уровня воды в колодце через  $S$ , то  $H^2 - h^2 = (2H - S) \cdot S$ . Тогда

$$Q = \pi K \frac{(2H - S) S}{\ln R - \ln r}.$$

Заменив натуральные логарифмы десятичными и  $\pi$  его числовым значением, получим формулу притока воды в совершен-

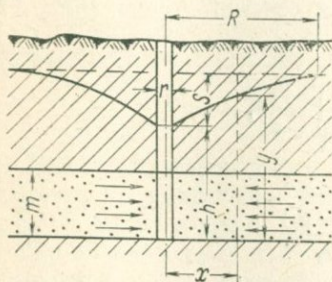


Рис. 16. Схема притока воды к артезианской совершенной скважине

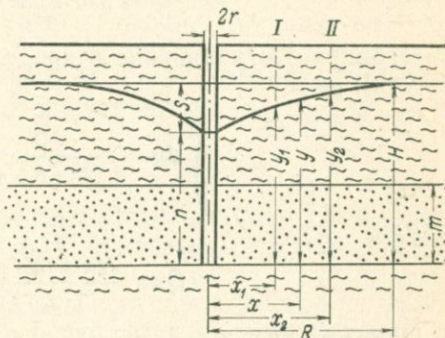


Рис. 17. Расчетная схема для вывода уравнения расхода артезианской скважины

ный безнапорный колодец в более удобном для пользования виде

$$Q = 1,36K \frac{(2H - S) S}{\lg R - \lg r}. \quad (6)$$

Формула (6) называется формулой Дюпюи и широко используется для расчета дебита совершенных одиночных грунтовых колодцев по заданному понижению.

Грунтовые несовершенные водозаборы. Дебит несовершенных водозаборов меньше дебита совершенных. Различают два типа несовершенных водозаборов: с незатопленным фильтром, когда депрессионная кривая пересекает рабочую часть фильтра, и с затопленным фильтром, когда депрессионная кривая находится выше рабочей части (сюда относятся и артезианские несовершенные колодцы). Дебит несовершенных водозаборов определяется по различным формулам, приведенным в специальных руководствах [1, 6, 11, 16, 23] и др.

Артезианская совершенная скважина. При откачке воды из артезианской скважины вода будет притекать к ней со всех сторон в пределах пласта мощностью  $m$  (рис. 16).

Уровень воды в скважине понизится на величину  $S$  и столб воды будет равен  $h$ , считая от водоупорного ложа. Около скважины образуется депрессионная воронка понижения напора радиусом  $R$ , аналогичная по форме депрессионной воронке в грунтовых колодцах.



По линейному закону фильтрации

$$Q = K \cdot F \cdot I,$$

где  $F$  — площадь поперечного сечения напорного потока, которая на расстоянии  $x$  равна  $2\pi \cdot x \cdot m$ . Учитывая, что  $I = dy/dx$ , получим

$$Q = 2\pi \cdot K \cdot m \cdot x \frac{dy}{dx}.$$

Интегрируя это уравнение в пределах сечений  $I$  и  $II$  (рис. 17), получим  $y_2$

$$\int_{y_1}^{y_2} dy = \frac{Q}{2\pi \cdot K \cdot m} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{x},$$

откуда

$$Q = \frac{2\pi \cdot K \cdot m (y_2 - y_1)}{\ln x_2 - \ln x_1}.$$

Приравнивая  $x_1 = r$ ,  $x_2 = R$ ,  $y_1 = h_1$ ,  $y_2 = H$ , получим формулу Дюпюи для определения дебита артезианской совершенной скважины:

$$Q = \frac{2\pi \cdot K \cdot m (H - h_1)}{\ln R - \ln r}.$$

Учитывая, что  $H - h_1 = S$ , и переходя к десятичным логарифмам, получим расчетную формулу в наиболее удобном для пользования виде:

$$Q = \frac{2,73 K \cdot m \cdot S}{\lg R - \lg r}. \quad (7)$$

Если разделить дебит  $Q$  на понижение  $S$ , получим так называемый удельный дебит скважины  $q$ :

$$q = \frac{Q}{S},$$

который позволяет вычислить количество воды, поступающее в скважину при заданном понижении и часто используется при гидрогеологических расчетах притока воды в скважину, ствол шахты и т. п. Как следует из формулы (7), между дебитом  $Q$  и понижением  $S$  в артезианской скважине существует прямолинейная зависимость

$$Q_2 = \frac{Q_1}{S} \text{ или } Q_2 = q \cdot S_2.$$

Практикой установлено, что прямолинейная зависимость между  $Q$  и  $S$  обычно имеет место только при малой величине понижения. При большом понижении зависимость  $Q = f(S)$  выражается кривой и имеет вид

$$Q = a + b \lg S, \quad (8)$$

где  $a$  и  $b$  — коэффициенты, зависящие от сопротивления, испытываемого водой при ее движении в водоносном пласте, при входе в фильтр и в трубах скважины;  $Q$  — дебит скважины при проектируемом понижении  $S$ .

Формула (8) предложена М. Е. Альтовским для расчета дебита глубоких артезианских скважин в случае превышения расчетного понижения над максимальным, достигнутым при опытной откачке, в 2—3 раза.

Чтобы определить коэффициенты  $a$  и  $b$ , необходимо провести откачку не менее чем при двух понижениях:

$$b = \frac{Q_2 - Q_1}{\lg S_2 - \lg S_1}; \quad a = Q_1 - b \cdot \lg S_1.$$

Дебит несовершенного артезианского колодца также определяется по различным формулам, приведенным в руководствах [1, 6, 11, 16, 23 и др.].

Приток воды к горизонтальным водозаборам. Горизонтальными водозаборами являются канавы, галереи, горизонтальные горные выработки — штреки, квершлагги. Они также могут быть совершенными, т. е. вскрывать водоносный пласт на всю его мощность, и несовершенными, когда ими вскрывается только часть водоносного пласта.

Приток воды в совершенный горизонтальный водозабор (рис. 18), отнесенный к 1 м его длины, или *единичный* расход, определяется по формуле

$$q = K \frac{H^2 - h^2}{R}.$$

Для водозабора длиной  $L$  приток

$$Q = q \cdot L.$$

Если приток воды будет только с одной стороны водозабора, то величину  $Q$  надо уменьшить вдвое.

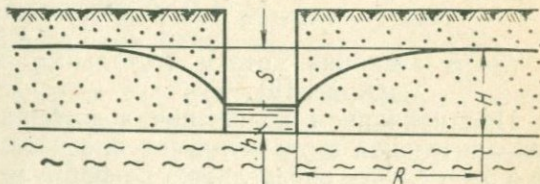


Рис. 18. Горизонтальный совершенный водозабор

Дебит несовершенных горизонтальных водозаборов определяется по сложным формулам, приводимым в специальных руководствах.



## § 21. Взаимодействие водозаборов

При эксплуатации подземных вод, а также при проведении дренажа и осушения месторождений скважины и другие искусственные дренажные выработки располагаются обычно группами на расстоянии меньше двух радиусов влияния. В этих условиях они взаимодействуют.

Взаимодействие водозаборов выражается в снижении дебита (по сравнению с дебитами тех же водозаборов и при тех же динамических уровнях, но работающих в условиях отсутствия взаимодействия), динамических уровней, что преимущественно и наблюдается.

Интенсивность и характер взаимодействия водозаборов зависят от многих естественных и искусственных факторов: водопроницаемости пород, мощности и ширины подземного потока, положения водоупорного ложа, условий питания и разгрузки водоносного горизонта, взаимосвязи со смежными водоносными горизонтами, взаимного расположения водозаборов, их количества, конструкции фильтров, совершенства водозаборов и др. Взаимодействующие водозаборы располагаются линейно (преимущественно нормально к направлению потока подземных вод), по контурам геометрической фигуры (по кругу, в вершинах многоугольников и т. п.) или в каком-либо ином порядке. Учитывая одновременное влияние многих факторов, расчет взаимодействующих водозаборов проводится методом подбора, в результате чего и устанавливаются нужное число выработок, их наиболее рациональное расположение, конструкции и уточняются другие вопросы. Методика расчетов взаимодействующих водозаборов весьма сложная и изложена в многочисленной специальной литературе [6, 7, 11, 23 и др.].

## § 22. Определение расхода подземного потока

Расход потока безнапорных подземных вод при горизонтальном водоупоре (рис. 19) определяется по формуле Дюпюи:

$$Q = B \cdot K \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l},$$

где  $B$  — ширина потока (остальные обозначения показаны на рис. 19).

При наклонном положении водоупора (рис. 20) вводится дополнительная горизонтальная плоскость  $O-O$ ; расход потока в этом случае определяется по формуле

$$Q = B \cdot K \frac{(H_1 - H_2) \cdot (h_1 - h_2)}{2l}. \quad (9)$$

Если разделить расход потока  $Q$  на ширину потока  $B$ , получим так называемый единичный, или удельный, расход:

$$q = \frac{Q}{B}. \quad (10)$$

Формулы (9) и (10) используются для вычисления притока воды к совершенным горизонтальным водозаборам.

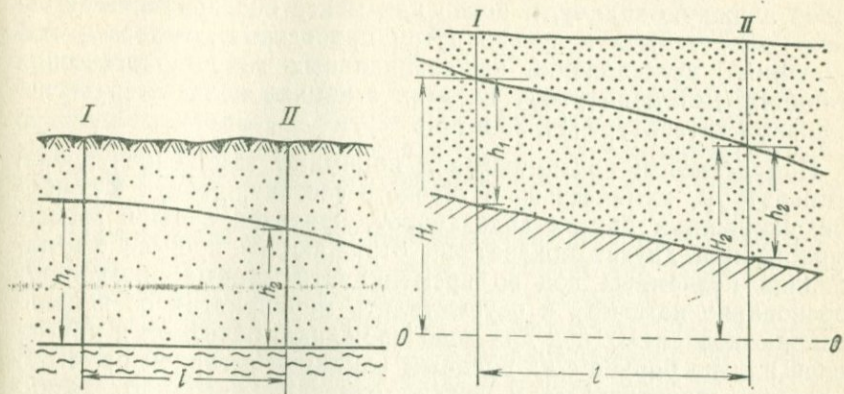


Рис. 19. Схема безнапорных вод с горизонтальным водоупором

Рис. 20. Схема безнапорных вод с наклонным водоупором:

$H_1$  и  $H_2$  — напоры в сечениях I и II на расстоянии  $l$ ;  $h_1$ ,  $h_2$  — высота столба воды в тех же сечениях; O—O — условная горизонтальная плоскость сравнения

В случае напорных вод единичный расход потока определяется по формуле

$$q = K \cdot m \frac{H_1 - H_2}{l}.$$

В более сложных случаях (при неравномерном движении потока, изменяющемся значении коэффициента фильтрации, напорно-безнапорном движении потока, переменной мощности пласта и др.) определение расхода потока подземных вод представляет собой сложную задачу и проводится по различным методам, изложенным в специальных руководствах.

### § 23. Понятие о балансе, режиме и запасах подземных вод

Под балансом подземных вод какого-либо района понимается весьма сложный процесс их питания, расходования и дренирования за какой-либо промежуток времени, обусловливаемый как естественными факторами, так и хозяйственной деятельностью человека.

Знание водного баланса подземных вод, распространенных на той или иной территории, позволяет обоснованно решать вопросы обводненности шахт, рудников и карьеров, устанавливать производительность водозаборов, используемых для водо-



снабжения, и решать другие гидрогеологические задачи. Для определения водного баланса подземных вод район распространения водоносного горизонта должен быть хорошо изучен в метеорологическом, гидрологическом и гидрогеологическом отношениях. Определение баланса подземных вод представляет собой сложную задачу, и более или менее обоснованное ее решение может быть получено путем проведения комплекса стационарных исследований на специальных гидрогеологических станциях; методика работ на этих станциях излагается в специальной литературе [14, 23 и др.].

Под *режимом* подземных вод понимают изменение уровня, температуры, химического и газового состава, дебита источников, скважин и других водозаборов, притоков воды в горные выработки и другие показатели, отражающие процесс формирования подземных вод во времени. Эти данные позволяют обоснованно намечать и осуществлять мероприятия по использованию подземных вод для водоснабжения, лечебных и других целей или по борьбе с их вредным влиянием в горной промышленности, строительстве и других отраслях народного хозяйства. Особенно существенно знание режима подземных вод в деле защиты и сохранения природных богатств страны. Учитывая исключительную практическую ценность данных режимных наблюдений для различных отраслей хозяйства, курортов, строительства и т. д., режимные наблюдения за подземными водами ведутся в нашей стране на многих тысячах стационарных наблюдательных пунктов; в зависимости от ведомственной принадлежности наблюдательной станции режимные наблюдения ведутся по различным программам и только на стационарных гидрогеологических станциях, находящихся в ведении Министерства геологии, наблюдения ведутся в общерегиональном масштабе, где одновременно изучаются и основные элементы баланса подземных вод.

Знание закономерностей режима подземных вод позволяет прогнозировать его изменение во времени и пространстве, обусловленное естественными условиями или же инженерно-хозяйственной деятельностью человека, что имеет существенное значение вообще и особенно при освоении новых территорий в Сибири, по трассе БАМ и Дальнего Востока. Методика прогноза режима подземных вод разработана еще слабо.

При гидрогеологических исследованиях определяются *запасы* подземных вод. Знание их совершенно необходимо при решении вопросов водоснабжения, обеспечения минеральной водой санаториев, определения притоков воды в горных выработках и др. Запасы подземных вод подразделяются на естественные, эксплуатационные и искусственные. *Естественные запасы* представляют собой количество воды, находящейся в порах и трещинах изучаемого водоносного горизонта и дви-

жущейся в естественных условиях с расходом, не измененным искусственными факторами.

Под *эксплуатационными запасами* понимается количество подземных вод (в м<sup>3</sup>/сут), которое может быть получено рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации и качестве воды, удовлетворяющем потребителей в течение всего расчетного срока водопотребления.

*Искусственные запасы* подземных вод образуются путем возведения специальных сооружений (поглощающих скважин, канав, фильтрационных бассейнов и др.), задерживающих поверхностный сток и обеспечивающих искусственное питание подземных вод.

Естественные и искусственные запасы составляют эксплуатационные запасы подземных вод на конкретной площади пространства изучаемого водоносного горизонта.

Методы оценки естественных, эксплуатационных и искусственных запасов подземных вод и прогнозирование эксплуатационных запасов во времени многочисленны, сложны и излагаются в специальной литературе [2, 3, 4, 11, 23 и др.].

#### Глава IV

### ПОЛЕВЫЕ ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ

#### § 24. Цель опытных работ

В задачу опытных полевых работ (при изысканиях на строительных площадках, при разведке подземных вод на месторождениях полезных ископаемых и решении многих других самых разнообразных народнохозяйственных задач) входят выявление и изучение многообразных природных факторов, которые определяют условия проектирования, строительства и последующую эксплуатацию возведенных объектов.

Полевые опытные работы многочисленны и разнообразны. Они позволяют определять и изучать фильтрационные и физико-механические свойства горных пород, оползневые и другие физико-геологические процессы и явления, режим подземных вод на орошаемых и осушаемых площадях и многие другие проблемы.

В данной главе описываются только полевые опытные работы, выполняемые для изучения фильтрационных и физико-механических свойств горных пород.

#### § 25. Опытно-фильтрационные работы

Опытно-фильтрационные работы представляют собой полевые гидродинамические опробования, дающие возможность оп-



ределить количественные характеристики параметров водоносных пластов. Относятся к наиболее сложным и дорогостоящим видам гидрогеологических исследований и потому требуют наибольшего внимания и творческого отношения. Наибольшее значение этот вид работ имеет при поисках и разведке подземных вод для водоснабжения и орошения, при разведке полезных ископаемых и гидротехническом строительстве.

Методика проведения опытных фильтрационных работ и обработка их результатов излагаются в многочисленной специальной литературе [1, 6, 7, 9, 11, 16, 23, 25 и др.].

Основными видами опытно-фильтрационных работ являются откачки, которые подразделяются на: пробные, опытные и опытно-эксплуатационные. Наиболее массовыми являются откачки, которыми опробуются практически все скважины, пробуренные в процессе гидрогеологических исследований.

Пробные откачки производятся при предварительной оценке фильтрационных свойств водовмещающих пород и качества подземных вод в целях получения сравнительной характеристики различных участков разведываемой площади. Проводятся, как правило, из одиночных скважин на стадии поисковой и предварительной разведки, продолжительностью от нескольких часов до 7 сут. Дают возможность определить удельный дебит и приближенно коэффициенты фильтрации и пьезопроводности (уровнепроводности).

Опытные откачки являются основным видом гидрогеологических работ, проводимых на стадии детальной разведки. Проводятся из одиночных скважин или гидрогеологических кустов, продолжительностью до 6—30 сут. Дают возможность определить более точно все основные гидрогеологические параметры водоносных пород, в том числе стабильность химического состава и физических свойств подземных вод.

Опытно-эксплуатационные откачки проводятся из одиночных скважин или кустов, продолжительностью до нескольких месяцев, для установления условий длительной работы эксплуатационных скважин.

Ориентировочный объем опытных гидрогеологических работ в различных условиях приведен в работе Е. Е. Керкиса [9, с. 164]. Там же указано число опытных скважин в зависимости от сложности гидрогеологических условий, число опытных скважин на 1 км<sup>2</sup> исследуемой площади, среднее расстояние между скважинами.

Опытные скважины, в частности опытные кусты, целесообразно закладывать на участках так, чтобы получить полную гидрогеологическую характеристику площади будущего водозабора. Для получения достоверных данных, необходимых для определения основных расчетных гидрогеологических параметров, рекомендуется [5] минимальное число наблюдательных скважин в опытном кусте (не менее трех). Опытный куст сле-

дует закладывать одно-, двух- и трехлучевой в зависимости от сложности условий опробуемого участка.

Опытные и наблюдательные скважины могут буриться ударно-канатным, колонковым, роторным или турбинным способами. Техническая характеристика станков для бурения приведена в литературе [23].

## § 26. Оборудование скважин для откачек

Существенное значение для качественного производства откачек имеет правильный подбор фильтра, конструкции которых многочисленны и разнообразны [16, 23]. Чаще всего для пробных и опытных откачек применяются дырчатые, проволочные, сетчатые и гравийные фильтры. Указания по применению тех или других фильтров в различных природных условиях приведены в СН-325—65 и в специальной литературе [9, 16, 23 и др].

Для производства откачек применяются насосы самых различных марок и производительности, описание которых приводится в соответствующих технических руководствах и справочниках, указанных выше.

Для замера уровней в опытной и наблюдательных скважинах, дебитов, температуры и отбора проб воды применяются различные приборы [16, 23]. Приборы для измерения и регистрации уровня подразделяются на переносные и стационарные. К переносным относятся электроуровнемеры (ЭВ-1М, УЭ-50, УЭ-200 и др.) и рулетки с хлопущкой (РС-20, Р-50, ГПП-пб и др.). К стационарным относятся поплавковые уровнемеры, самписцы различных конструкций, манометры и др., описанные в указанной литературе.

Количество воды, откачиваемой из скважины, замеряется многочисленными способами (объемными, водосливными) и приборами (водосчетчиками переменного перепада давления, расходомерами постоянного перепада давления — ротаметрами, электромагнитными расходомерами).

*Объемный способ* применяется широко и является наиболее простым; его рекомендуется применять при расходах не более 10 л/с. Время наполнения сосуда должно быть не менее 30—40 с, замер производится не менее трех раз. Недостатком этого метода является большая трудоемкость, громоздкость и нетранспортабельность мерного бака, невозможность непрерывной регистрации.

При количестве откачиваемой воды свыше 10 л/с применяют *водосливы* трапецидального, прямоугольного и треугольного сечений. Недостатками водосливов являются большие габариты и трудность их транспортировки, необходимость обеспечения равномерности потока по ширине, невозможность автоматического измерения и регистрации объема воды.



*Водосчетчики (водомеры)* применяются со спиральной вертушкой и крыльчатки с вертикальным и горизонтальным расположением оси. Водосчетчики измеряют скорость движения воды, величина которой для данного трубопровода будет пропорциональна расходу. Недостатками водосчетчиков являются невозможность их использования при значительном содержании взвешенных частиц и инерционность измерительного устройства (подача воды толчками недопустима).

*Расходомеры* еще мало применяются в практике гидрогеологических исследований; их описание приводится в специальной литературе [9, 16, 23].

Измерение температуры подземных вод производится ленивыми и максимальными термометрами [23].

Отбор проб воды и газа из скважин производится приборами различной конструкции [23].

При опробовании глубоких скважин применяются специальные приборы — аппарат Яковлева (АЯМ 1000 и АЯМ 2000), эхолоты Сныткина (ЭС-50), глубинные манометры, биметаллические термометры, глубинные пробоотборники, испытатели пластов различных конструкций и др. [23].

Как указывалось, опытные откачки являются основным видом гидрогеологических исследований, проводимых при решении самых разнообразных задач. Методика опытных работ в общем случае определяется тремя основными факторами: 1) назначением опытных работ; 2) стадией гидрогеологических исследований; 3) гидрогеологическими условиями разведываемого месторождения подземных вод. В своем сочетании эти факторы бывают самыми разнообразными, что и обуславливает необходимость их учета при установлении методики опытных работ. Последняя включает решение следующих основных вопросов: 1) выбор вида откачек (пробная, опытная, одиночная, кустовая и др.); 2) выбор местоположения и схемы опытного куста (число наблюдательных скважин, схемы их расположения, расстояния между центральной (опытной) и наблюдательными скважинами и т. д.); 3) характер и степень возмущения (постоянство дебита или постоянство пониженного уровня); 4) продолжительность откачек; 5) оборудование центральной и наблюдательных скважин.

## § 27. Проведение откачек

Откачки из одиночных скважин производятся обычно при двух- трех понижениях. Для безнапорных водоносных горизонтов максимальное понижение не должно превышать 40—50% мощности водоносного горизонта. Для напорных водоносных горизонтов максимальное понижение не должно быть больше высоты напора, отсчитанной от кровли горизонта. Продолжительность откачек указана в справочнике [23]. Работу насосов



регулируют с расчетом достижения постоянного дебита; при этом динамический уровень плавно и медленно понижается. Необходимо, чтобы условия постоянства дебита сохранялись на протяжении всего опыта. При несовершенстве опытной и наблюдательных скважин необходимо, чтобы поперечные оси фильтров всех скважин куста располагались в одной плоскости; при опробовании горизонтов с горизонтальным пологом залеганием эта плоскость должна быть горизонтальной, а в наклонных — совпадать с плоскостью напластования.

Подробные рекомендации по проведению опытных работ изложены в соответствующих инструкциях, методических указаниях и другой литературе [5].

## § 28. Обработка результатов откачки

Обработка результатов откачки заключается в составлении графика, определении коэффициента фильтрации, удельных дебитов, пьезо- или уровнепроводности для безнапорных вод и приведенного радиуса влияния. Графический материал состоит из геологических разрезов по линии наблюдательных скважин (по каждому лучу), на которые наносятся статические и динамические уровни, достигнутые при каждом понижении (таким образом, по каждому лучу получают депрессионную воронку) и графиков: 1) изменения дебита и уровней воды во время откачек, 2) зависимости дебита от понижения, 3) зависимости удельного дебита от понижения.

Расчет коэффициента фильтрации проводится по различным формулам в зависимости от ряда условий: 1) из одиночных скважин или кустов проводились откачки; 2) напорности вод; 3) близости, или, наоборот, удаленности скважин от реки; 4) типа скважин (совершенные или несовершенные) и для последнего случая — от положения фильтра в водоносном пласте, его длины и соотношения между длиной фильтра и мощностью пласта; при откачках из ненапорного водоносного горизонта следует учитывать также, затопленным или незатопленным был фильтр при откачке, т. е. был ли уровень воды в скважине при откачке выше фильтра, или же он находился в пределах фильтра; 5) для установившегося или неустановившегося режима.

Для всех сказанных случаев существуют различные формулы. Критический разбор имеющихся формул для определения коэффициента фильтрации и других гидрогеологических параметров и возможность их использования применительно к различным условиям подробно излагаются в специальной литературе [6, 23 и др.]. Для расчета коэффициента фильтрации по данным откачек при установившемся режиме фильтрации чаще всего применяются следующие формулы.

При откачке из одиночных совершенных скважин: безнапорные воды



$$K = 0,732Q \frac{\lg R - \lg r}{(2H - S) \cdot S};$$

напорные воды

$$K = 0,366Q \frac{\lg R - \lg r}{M \cdot S}.$$

При кустовых откачках из совершенных скважин: безнапорные воды

$$K = 0,732Q \frac{\lg x_2 - \lg x_1}{(2H - S_1 - S_2) \cdot (S_1 - S_2)};$$

напорные воды

$$K = 0,366Q \frac{\lg x_2 - \lg x_1}{M (S_1 - S_2)}.$$

Формулы выведены для совершенных скважин. Однако они применяются и для несовершенных скважин, но с введением поправки, предложенной Н. Н. Веригиным. Тогда формулы принимают следующий вид:

безнапорные воды, одиночная скважина

$$K = 0,732Q \frac{(\lg R - \lg r) + 0,217\xi}{(2H - S) S};$$

безнапорные воды, при кустовых откачках

$$K = 0,732Q \frac{(\lg x_2 - \lg x_1) + 0,217(\xi_1 - \xi_2)}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)};$$

напорные воды, одиночная скважина

$$K = 0,366Q \frac{(\lg R_n - \lg r) + 0,217\xi_0}{M \cdot S};$$

напорные воды, при кустовой откачке

$$K = 0,366Q \frac{(\lg x_2 - \lg x_1) + 0,217(\xi_1 - \xi_2)}{M (S_1 - S_2)},$$

где  $Q$  — дебит скважин при откачке, м<sup>3</sup>/сут;

$R_n$  — приведенный радиус влияния, м;

$r$  — радиус водоприемной части (фильтра) центральной скважины, м;

$H$  — мощность безнапорного водоносного горизонта, м;

$S$  — понижение уровня в центральной скважине, м;

$x_1, x_2$  — расстояние наблюдательных скважин от центральной;

$S_1, S_2$  — понижения в наблюдательных скважинах, м;

$M$  — мощность напорного горизонта, м;

$\xi$  — поправка на несовершенство скважин находится по

табл. 10.

Поскольку радиус депрессии входит в расчетные формулы под знаком логарифма, то при вычислении коэффициента

l	M (r <sub>1</sub> , x <sub>1</sub> , x <sub>2</sub> )									
	0,5	1	3	10	30	100	200	500	1000	2000
0,05	0,00423	0,135	2,3	12,6	35,5	71,9	94	125	149	169
0,1	0,00391	0,122	2,04	10,4	24,3	42,8	53,8	69,5	79,6	90,9
0,3	0,00297	0,0908	1,29	4,79	9,2	14,5	17,7	21,8	24,9	28,2
0,5	0,00165	0,0494	0,656	2,26	4,21	6,5	7,86	9,64	11,0	12,4
0,7	0,00546	0,0167	0,232	0,879	1,69	2,67	3,24	4,01	4,58	5,19
0,9	0,0000048	0,0015	0,0251	0,128	0,3	0,528	0,664	0,846	0,983	1,12

фильтрации по данным откачек из одиночных скважин его значения берутся из табл. 11.

Таблица 11

Порода	Величина радиуса влияния, м
Супесчаные породы	10—20
Мелкозернистые и пылеватые пески	20—50
Разно- и мелкозернистые глинистые пески	50—75
Неоднородные мелко-, средне-, крупно- и разнозернистые пески	80—150
Гравийно-галечниковые породы со значительной примесью мелких частиц, среднезернистые однородные пески	100—120
Гравийно-галечниковые породы с незначительной примесью мелких частиц; крупнозернистые однородные пески	200—300
Скальные слаботрециноватые породы	50—200
Скальные сильнотрециноватые породы	300 и более

Коэффициент уровнепроводности характеризует способность водоносного пласта передавать изменение уровня подземных вод со свободной поверхностью (безнапорные воды). Определяется он по формуле

$$a_y = \frac{K \cdot H_{\text{ср}}}{\mu} \text{ м}^2/\text{сут},$$

где  $\mu$  — водоотдача пласта, которая в разных породах характеризуется следующими значениями: в суглинистых 0,01—0,05; в супесчаных 0,1—0,15; в мелкозернистых песках 0,18—0,20; в среднезернистых 0,25—0,30; в крупнозернистых 0,30—0,35; в сильно выветрелых скальных породах 0,02—0,03; в невыветрелых скальных породах 0,005.

Произведение  $K \cdot H$  называют *водопродимостью пласта*.

Коэффициент пьезопроводности характеризует разуплотнение воды и упругое расширение пород при понижении давления в напорном пласте при откачке воды из скважины, иначе, —



скорость распространения давления в напорном водоносном пласте при откачке при неустановившемся режиме, что обуславливается упругими свойствами воды и водоносной породы. Формула для вычисления коэффициента пьезопроводности имеет вид

$$a = \frac{K}{n\beta_v + \beta_n}, \text{ м}^2/\text{сут},$$

где  $n$  — пористость водоносной породы;

$\beta_v$  — коэффициент объемной упругости воды, характеризующий способность воды изменять объем при изменении давления;

$\beta_n$  — коэффициент объемной упругости водоносной породы.

Точно значения  $a_y$  и  $a$  устанавливаются по данным откачек. Методика их определения изложена в специальных руководствах [6, 23]. Для наиболее часто встречающихся случаев  $a_y = 10^2 - 10^4 \text{ м}^2/\text{сут}$  и  $a = 10^5 - 10^7 \text{ м}^2/\text{сут}$ .

Коэффициенты уровне- и пьезопроводности используются при расчетах водозаборов в случае неустановившегося режима подземных вод, что преимущественно и наблюдается.

## § 29. Понятие об опытных наливах и нагнетаниях

**Опытные наливывы.** Налив в опытный колодец (скважину) может проводиться при наличии наблюдательных скважин или без них. Порядок расположения наблюдательных скважин такой же, как и в опытном кусте.

Перед наливом во всех скважинах точно определяют положение статического уровня, после чего приступают к наливу. После повышения уровня воды в центральной и наблюдательных скважинах количество наливаемой воды регулируют так, чтобы достичь стабильности расхода и уровней в скважинах, что свидетельствует об установившемся движении воды в водоносном пласте. По достижении стабильного расхода и уровней налив продолжают в течение 2—4 ч. Результаты налива заносят в журнал, подобный журналу опытной откачки.

Расчет коэффициента фильтрации по данным налива ведут по формулам, приведенным в специальных руководствах [23].

**Определение водопроницаемости сухих пород наливками.** Метод А. К. Болдырева. Для определения водопроницаемости этим методом отрывают шурф, на дне которого проходят приямок диаметром примерно 0,5 м и глубиной 15—20 см. В приямок заливают воду с расчетом, чтобы уровень поддерживался постоянным на высоте 10 см от дна, что контролируется при помощи рейки, установленной на дно приямка. При постоянном уровне и расходе воды опыт проводят в течение 4—6 ч и больше. Общая продолжительность опыта в среднем в песках 10—12 ч, в супесях и суглинках 24 ч. Коэффициент фильтрации определяют по формуле

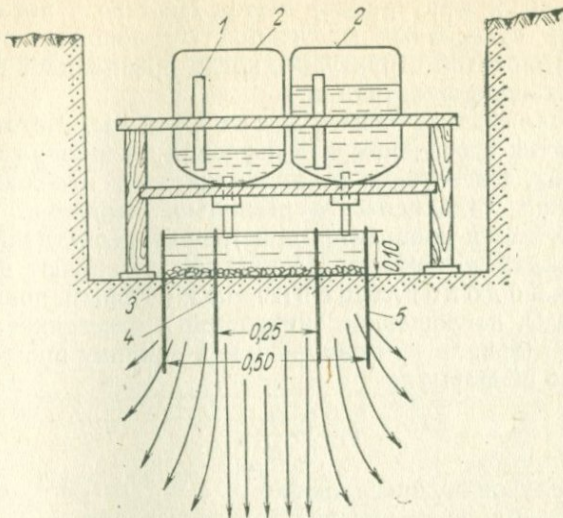


Рис. 21. Общий вид опытной установки (по Н. С. Нестерову).  
1 — мерная линейка; 2 — бутылки; 3 — слой гравия; 4 — внутреннее кольцо; 5 — внешнее кольцо

$$K = \frac{Q}{F}, \quad (11)$$

где  $Q$  — установившийся расход воды;  
 $F$  — площадь сечения прямка.

Вследствие недоучета растекания воды в стороны и капиллярных явлений этот метод дает завышенные значения коэффициента фильтрации, особенно для слабопроницаемых пород (супесей, суглинков и т. п.). Методом Болдырева пользуются лишь для приближенного определения коэффициента водопроницаемости песчаных и трещиноватых пород, где влияние капиллярных сил ничтожно.

*Метод Н. С. Нестерова.* В спланированное дно шурфа на глубину 5—8 см concentрично вдавливают два стальных цилиндра диаметром 50 и 25 см (рис. 21). В оба цилиндра наливают воду слоем 10 см и с помощью двух опрокинутых сосудов Мариотта емкостью 3—5 л поддерживают этот слой воды на одном уровне в течение всего опыта (4—6 ч и больше при стабилизировавшемся расходе воды). Предполагается, что вода из внутреннего кольца идет в основном на фильтрацию в вертикальном направлении и, тем самым, поперечное сечение инфильтрационного потока равно поперечному сечению внутреннего цилиндра. Коэффициент фильтрации рассчитывают по формуле (11), беря расход воды только по внутреннему цилиндру и площадь его сечения. Более точный расчет приводится



в специальной литературе [23]. Метод Нестерова рекомендуется применять в супесчаных и суглинистых породах, особенно в лёссах со столбчатой структурой, когда преобладает вертикальная составляющая фильтрации.

Опытные нагнетания в скважины. Метод нагнетания проводится в основном для изучения трещиноватости водонесных пород. Нагнетания осуществляются в отдельные интервалы скважин, отделяемые с помощью тампонов различной конструкции [23], и проводятся при трех ступенях давления (напора) в каждом интервале. Нагнетания позволяют определить удельное водопоглощение, под которым понимают количество воды, поглощенное скважиной и отнесенное к 1 м испытываемого интервала при напоре 1 м в единицу времени. Определяется оно по формуле

$$q = \frac{Q}{lH},$$

где  $q$  — удельное водопоглощение;

$Q$  — общее водопоглощение при нагнетании, л/мин;

$l$  — длина испытываемого интервала, м;

$H$  — действующий напор, м.

За стандартную длину испытываемого интервала принимают 5 м; рекомендуемые ступени давления (напора) 5, 10 и 15 м водяного столба. Продолжительность нагнетания при данной ступени давления и постоянстве расхода нагнетаемой воды 8—10 ч.

Данные нагнетаний используют для приближенного определения коэффициента фильтрации (обычно заниженного вследствие кольматации трещин) по формуле

$$K = 0,525q \lg \frac{0,66e}{r},$$

где  $q$  — удельное водопоглощение, л/мин;

$l$  — длина испытываемого интервала скважины, м;

$r$  — радиус скважины, м.

### § 30. Полевые методы определения сопротивления пород сжатию и сдвигу

Полевые опытные исследования проводятся для получения достоверных характеристик деформируемости и прочности пород в условиях их естественного залегания. Показатели сопротивления пород сжатию и сдвигу используются для расчета осадки сооружений (зданий, мостов и др.), для расчета устойчивости откосов выемок, давления грунтов на подпорные сооружения, на крепь в тоннелях и в других случаях. Определение этих характеристик в лабораториях на монолитах не полностью характеризует состояние и свойства пород в массиве, так как из-

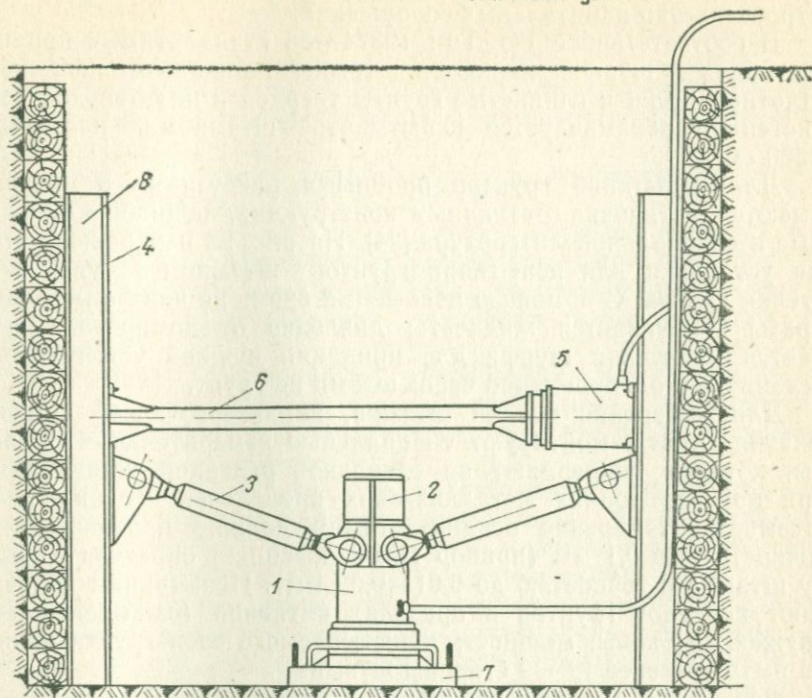


Рис. 22. Установка для испытания грунта штампом с упором в стенки шурфа.

1 — домкрат; 2 — траверса; 3 — винтовые упоры; 4 — вертикальная стойка; 5 — горизонтальный домкрат; 6 — распорка; 7 — штамп; 8 — крепежные брусья

влечение монолита из выработки всегда сопровождается неизбежным разуплотнением, изменением влажности и газового состава, т. е. нарушением естественной структуры и состояния грунта.

Основными видами полевых испытаний грунтов являются: пробные нагрузки в шурфах и скважинах; динамическое и статическое зондирование; определение в скважинах сопротивления грунтов сдвигу; определение плотности и влажности грунтов при помощи радиоактивных изотопов; пенетрационно-картажные исследования для определения несущих свойств грунта.

Пробные нагрузки в шурфах или скважинах позволяют определять сопротивление грунтов сжатию. Испытания проводят при помощи специальных установок, передающих через штампы нагрузки на грунты. Испытание грунтов штампами в шурфах является наиболее достоверным. Однако для проведения таких испытаний требуются довольно громоздкие установки, вследствие чего определение сопротивления грунтов



сжатию в шурфах проводится только при исследованиях под строительство капитальных сооружений.

В соответствии с ГОСТом 12374—66 стандартными при испытаниях в шурфах являются штампы площадью 5000 см<sup>2</sup>. Плотные пески и глинистые грунты твердой и полутвердой консистенции рекомендуется испытывать штампами площадью 2500 см<sup>2</sup>.

Для испытаний грунтов пробными нагрузками в шурфах имеются установки различных конструкций, подробно описанные в специальной литературе [24]. На рис. 22 изображена схема установки для испытания грунтов штампом с упором в стенки шурфа. С помощью насоса (на схеме не показан) в домкраты закачивается жидкость; давление от домкратов передается на стенки шурфа для придания нужной устойчивости установке и одновременно через штамп на грунт.

Для измерения осадки штампа, характеризующей степень сжатия грунта, монтируют специальные измерительные приборы, которые закрепляют на отдельной реперной установке и при помощи тонких металлических проволочек соединяют со штампом. Измерение осадки штампа должно проводиться с точностью до 0,1 мм (прибор ПМ-3 позволяет определять осадку штампа с точностью до 0,01—0,02 мм). Испытаниям подвергают все слои грунтов в пределах активной (сжимаемой сооружением) зоны; мощность испытываемого слоя грунта должна быть не менее 1,5—2 стороны штампа.

Испытания грунтов пробными статическими нагрузками в шурфах позволяют определять модуль деформации грунтов, который является основным показателем, характеризующим деформируемость грунтов в основании сооружений, и используется для расчета осадок зданий, мостов и других сооружений.

Испытания грунтов пробными нагрузками на глубинах свыше 3 м проводятся в скважинах. Для глубинных испытаний имеются установки различных конструкций — с нагружаемой подвесной платформой, с анкерными сваями и др., которые описаны в специальной литературе [12, 24].

Динамическое зондирование является одним из наиболее распространенных, простых и дешевых методов исследования грунтов в полевых условиях.

При динамическом зондировании производится забивка в грунт зонда — колонны штанг с коническим наконечником; диаметр основания конуса больше диаметра штанг.

При забивке зонда учитывают или глубину погружения конуса от заданного числа ударов (5—10 ударов) или число ударов молота при заданной глубине погружения конуса (обычно 10 см).

Основной задачей, решаемой при испытаниях динамическим зондированием, является установление плотности грунтов. Простота опытов и быстрота их выполнения, несложность приме-



няемого оборудования позволяют определять грунты участков, отличающихся различной плотностью.

В соответствии с пластичностью песчаных грунтов и их влажностью, характеризуемой коэффициентом влажности, по таблицам, приведенным в СНиПе II 15—74, определяются расчетные давления на песчаные грунты, служащие основанием зданий и сооружений.

Подробно методика динамического зондирования изложена в ГОСТе 19912—74.

Статическое зондирование грунтов является одним из наиболее эффективных и достоверных методов определения важнейших физико-механических свойств грунтов, используемых при проектировании и строительстве зданий и сооружений.

Статическое зондирование производят вдавливанием в грунт конуса на штангах, измеряя при этом сопротивление грунта погружению конуса и соответствующее этому погружению затрачиваемое усилие.

Установки для статического зондирования, ныне применяемые, имеют самые различные конструкции. В большинстве случаев используется конус диаметром в основании 36 мм, площадью основания 10 см<sup>2</sup> и углом при вершине 60°.

По результатам статического зондирования определяют: 1) характер напластования, вид грунтов основания, степень неоднородности грунтов в плане и по глубине; 2) плотность и угол внутреннего трения песчаных грунтов; 3) консистенцию глинистых грунтов; 4) модуль деформации грунтов; 5) нормативное давление на грунт; 6) несущую способность свай.

Для выбора типа фундамента, а также для проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений, нормативные характеристики устанавливаются, по данным статического зондирования, по СНиПу II 15—74.

Для проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений I и II классов приводимые в таблицах нормативные характеристики грунтов должны уточняться для конкретного участка на основе сопоставления данных зондирования с результатами исследований свойств грунтов лабораторными и другими полевыми методами.

Методика статического зондирования изложена в ГОСТе 20069—74.

Определение сопротивления грунтов сдвигу. Испытания грунтов на сдвиг проводятся в скважинах с помощью лопастных установок. Испытания на сдвиг лопастными приборами позволяют определять сопротивление сдвигу и структурную прочность, или чувствительность грунтов. Основными грунтами, в которых испытания лопастными приборами наиболее эффективны, являются водонасыщенные глинистые (рыхлые и средней плотности) текучей, текучепластичной и



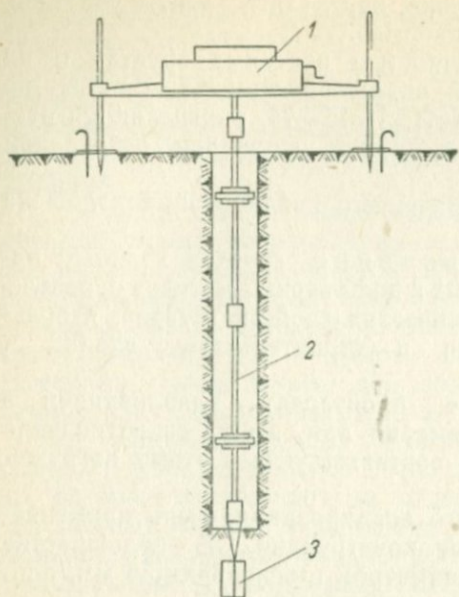


Рис. 23. Схема лопастной установки УИГС ЦНИИС.

1 — оперативный столик; 2 — штанга; 3 — рабочий наконечник

мягкопластичной консистенции, которым обычно присущи и тиксотропные свойства. Сущность лопастных испытаний состоит в том, что в грунт погружают лопастной прибор и поворотом его вокруг оси определяют максимальный крутящий момент, характеризующий сопротивление грунтов сдвигу. Схема лопастной установки приведена на рис. 23. Расчетная глубина испытаний до 25 м. Размеры лопастей крыльчатки: высота 110, 150 и 200 мм; диаметр 55, 75 и 100 мм.

Определение плотности и влажности грунтов с помощью радиоактивных изотопов. Уже указывалось, что плотность и

влажность являются важными характеристиками грунтов. Зная гранулометрический состав и пределы пластичности грунтов (что легко определяется на образцах нарушенной структуры) и определив плотность и влажность грунтов в условиях их естественного залегания, можно практически решать многие вопросы, возникающие при проектировании и строительстве фундаментов зданий и сооружений.

Методы определения плотности и влажности грунтов в их естественном залегании с помощью радиоактивных изотопов отличаются простотой, малой трудоемкостью, дешевизной, оперативностью и высокой точностью. Для определения плотности грунтов используется гамма-излучение, которое представляет жесткие электромагнитные волны. Прохождение гамма-лучей через какое-либо вещество сопровождается различными процессами. Для определения плотности используется процесс рассеяния гамма-излучения на электронах среды, в результате чего происходит частичная потеря энергии гамма-лучей и меняется направление их движения. Коэффициент ослабления гамма-излучения пропорционален плотности среды, через которую проходит излучение, что и дает возможность использовать этот вид излучения для определения плотности грунтов.

Искомую величину плотности находят по калибровочному

графику, составляемому для данного плотномера, и эталону грунта, плотность которого известна.

Для определения естественной влажности грунтов используется нейтронное излучение. При излучении нейтроны, обладающие высокой кинетической энергией, не имея заряда, свободно проникают через электронную оболочку атома и сталкиваются с его ядром. Передавая ядру часть своей кинетической энергии, нейтроны постепенно теряют скорость, и в конце процесса она становится равной скорости теплового движения, которое присуще атомам всех элементов. Замедленные нейтроны поэтому называют *тепловыми*.

Замедляющая способность воды, всегда имеющейся в грунтах, в сотни раз превосходит замедляющую способность других элементов, входящих в состав грунтов. В свою очередь замедление быстрых нейтронов происходит тем интенсивнее, чем выше влажность исследуемого грунта.

Для определения естественной влажности грунтов сконструированы приборы в виде гильз, в которых монтируются источники быстрых нейтронов (смесь полония с бериллием или радия с бериллием) и счетчик медленных (тепловых) нейтронов. Гильзу с датчиком и счетчиком помещают в стальную трубку, которую плотно вдавливают в исследуемый грунт.

В настоящее время сконструированы приборы — *влажноплотномеры*, дающие возможность одновременно определять плотность и влажность грунтов в любой заданной точке по глубине скважины.

Методика применения радиоактивных изотопов изложена в работе [31].

Пенетрационно-каротажные исследования являются одним из методов определения несущих свойств грунтов, который позволяет избежать предварительную проходку буровых скважин. Каротажный зонд вдавливается в грунт, а сам способ вдавливания используется как метод исследования грунтов статическим зондированием. Установки для пенетрационного картирования оборудуются для одновременного выполнения ядерного каротажа. Совмещение методов статического зондирования и радиоактивного каротажа позволяет получать непрерывные диаграммы распределения по глубине следующих показателей: объемной массы, влажности, пористости, лобового сопротивления грунта погружению наконечника зонда, трения грунта по боковой поверхности зонда, естественной радиоактивности. Пенетрационно-каротажные исследования ведутся с помощью специальных станций СПК и СПК-Т, смонтированных на автомашинах. Установки позволяют исследовать грунты до глубины 20—30 м от поверхности. Метод широко использовался при инженерно-геологических изысканиях во время строительства МГУ, КамАЗа и других объектов. Разработана пенетрационно-каротажная установка ПСПК для изучения донных мор-



ских осадков. Установка погружается на дно, управление операциями по вдавливанию и извлечению каротажного зонда производится дистанционно с катера или лодки.

### § 31. Отбор монолитов грунта из выработок и скважин

В соответствии с требованиями ГОСТа 12071—72 отбор образцов грунта ненарушенного сложения производят из шурфов, расчисток и других выработок из зачищенного дна или стенок выработки. Образцы должны иметь форму куба или параллелепипеда с размерами сторон не менее: для скальных грунтов —  $100 \times 100 \times 100$  мм; для крупнообломочных сцементированных мерзлотой: дресвяных и гравийных —  $200 \times 200 \times 200$  мм; щебенистых и галечников —  $300 \times 300 \times 300$  мм; песчаных, сцементированных мерзлотой, и глинистых —  $200 \times 200 \times 200$  мм.

Образцы грунта ненарушенного сложения, не сохраняющие формы без жесткой тары, отбирают методом режущего кольца; внутренний диаметр кольца должен быть не менее 80 мм при высоте не более двух диаметров.

Отбор монолитов из буровых скважин проводится с уровня зачищенного забоя грунтоносами. Имеются различные конструкции грунтоносов, описанных в специальной литературе [12, 18, 24].

На монолитах сразу после их извлечения должен быть помечен верх, и их немедленно парафинируют, туго обматывают марлей, пропитанной парафином, затем вновь парафинируют, обматывают вторым слоем марли, пропитанной парафином, и еще раз покрывают слоем парафина. До парафинирования на верхнюю грань образца кладут завернутую в кальку этикетку; второй экземпляр этикетки, смоченной парафином, прикрепляют сверху запапарафинированного образца и также покрывают слоем парафина.

Для транспортировки образцов в лабораторию их упаковывают в ящики. Укладка образцов в ящики должна быть плотной, свободное пространство заполняют влажными опилками, стружками и другими заполнителями. Образцы отделяют от стенки ящика слоем заполнителя толщиной 3—4 см и друг от друга слоем толщиной 2—3 см. На ящиках ставят надпись «Верх», их нумеруют, внутри ящика под верхнюю крышку кладут завернутый в кальку список образцов. Общая масса ящика с образцами не должна превышать 40 кг.

Упакованные в ящики образцы транспортируют при положительных температурах, а вечномерзлые — при температурах воздуха не выше минус  $4^{\circ}\text{C}$  и не ниже минус  $15^{\circ}\text{C}$ . Срок хранения запапарафинированных талых образцов до лабораторного исследования не должен превышать 1—1,5 месяца со дня их отбора.

## ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Химический состав и физические свойства подземных вод изучают для различных целей: для питьевого и технически-хозяйственного водоснабжения (питания котлов, охлаждения машин, тушения пожаров и т. п.), орошения, для лечебных целей, как поисковый критерий на различные полезные ископаемые, для оценки агрессивности подземных вод по отношению к бетону, для установления связи водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами и т. п.

Подземные воды представляют собой сложные естественные растворы, находящиеся в многообразных связях и взаимодействии с окружающей природной средой. Естественная физико-географическая и геологическая обстановки определяют особенности генезиса и дальнейшего преобразования подземных вод.

### § 32. Физические свойства подземных вод

При гидрогеологических исследованиях определяются следующие главнейшие физические свойства подземных вод: температура, цвет, прозрачность, вкус, запах и плотность.

Температура подземных вод изменяется в широких пределах. В высокогорных районах и в области распространения многолетней мерзлоты она низкая; высокоминерализованные воды местами имеют даже отрицательную температуру ( $-5^{\circ}\text{C}$  и ниже). В районах молодой вулканической деятельности, а также в местах выходов гейзеров (Камчатка, Исландия и др.) температура воды иногда превышает  $100^{\circ}\text{C}$ . Температура неглубоко залегающих подземных вод в средних широтах обычно изменяется в пределах  $5-12^{\circ}\text{C}$  и обуславливается местными климатическими (в основном) и гидрогеологическими условиями.

При гидрогеологических исследованиях температуру подземных вод измеряют непосредственно в источнике, колодце или скважине. Для измерения применяют ленивые термометры, шарик у которых обернут теплоизолирующим материалом (ватой, шерстью и т. п.). При замерах температуры воды в глубоких скважинах помимо обычных термометров используют электротермометры и термоэлементы.

Цвет подземных вод зависит от имеющихся в них механических или органических примесей. Желтоватый и буроватый цвет придают воде органические примеси; закисные соединения железа и сероводород придают ей зеленовато-голубую окраску. В большинстве своем подземные воды бес-



цветны. Цвет воды определяют в градусах путем сравнения с эталоном цветности. Удовлетворительной считается вода с цветностью не выше 20°.

Прозрачность подземных вод зависит от содержания механических примесей, коллоидов и органических веществ. Прозрачность определяют при помощи цилиндра высотой 30—40 см, который ставят на специальный шрифт, затем через кран выпускают воду из цилиндра до тех пор, пока через оставшийся слой воды не будет ясно виден этот шрифт. Высота оставшегося столба воды в сантиметрах и определяет степень прозрачности воды. Удовлетворительной считается вода при слое ее не менее 30 см.

Вкус подземной воде придают растворенные минеральные вещества, газы и примеси. Хлористый натрий придает ей сладковатый вкус при содержании до 500 мг/л и соленый при содержании более 600 мг/л, сульфаты магния — горький, соли железа — терпкий, органические вещества — сладковатый, гидрокарбонаты кальция и магния, а также свободная углекислота — приятный освежающий вкус. Слабоминерализованные дождевые воды имеют неприятный вкус. Вкус определяется по воде, подогретой до 20—30° С. Следует иметь в виду, что вкусовые ощущения субъективны.

Запах в подземных водах обычно отсутствует. Однако иногда подземная вода имеет запах тухлых яиц (наличие сероводорода), болотный запах, гнилостный, запах плесени и др. Питьевая вода не должна иметь запаха. Для точного определения запаха воду подогревают до температуры 40—50° С. Интенсивность запаха оценивается по пятибалльной шкале.

Плотность воды примерно характеризует ее минерализацию, выражаемую в градусах Боме; один градус Боме соответствует 1 вес.‰ содержания в воде хлористого натрия. Ориентировочное определение плотности воды проводят при помощи солемера, точнее — с помощью пикнометра.

### § 33. Химический состав подземных вод

В природных водах в настоящее время обнаружено в растворенном виде свыше 80 элементов периодической системы Менделеева. Следовательно, подземные воды являются природными растворами. Наиболее распространенными в природных водах элементами являются Cl, S, C, Si, N, O, H, K, Na, Ca, Fe, Al; другие элементы встречаются реже и обычно в небольших количествах.

Определение химического состава подземных вод при гидрогеологических исследованиях имеет большое значение. В соответствии с существующими нормативами практическая оценка изучаемых в данном пункте подземных вод (для водоснабже-



ния, при строительстве, в горном деле, для орошения и других целей) может быть самой различной.

Свойства подземных вод определяются количеством и соотношением содержащихся в них в растворенном виде солей, присутствующих в воде в виде ионов (катионов и анионов). Из них наибольшее практическое значение имеют следующие:  $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . Из недиссоциированных соединений наиболее часто встречаются  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , а из газов —  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , иногда  $\text{He}$ ,  $\text{Rn}$  и др.

Реакция воды. Для правильного определения химического состава подземных вод нужно знать концентрацию водородных ионов, или так называемую активную реакцию воды, количественно выражаемую величиной  $\text{pH}$ , которая представляет десятичный логарифм концентрации ионов водорода (точнее, их активности), взятый с положительным знаком:  $\text{pH} = -\lg(\text{H}^+)$ . Знать эту величину необходимо для решения целого ряда теоретических и практических вопросов (оценки агрессивности подземных вод, их корродирующей способности и др.). При температуре  $22^\circ\text{C}$  в чистой воде содержание водородных и гидроксильных ионов равно (порознь)  $10^{-7}$ ; следовательно, для нейтральных вод  $\text{pH}=7$ , при  $\text{pH}>7$  вода имеет щелочную реакцию, а при  $\text{pH}<7$  — кислую. По величине  $\text{pH}$  воды делятся на весьма кислые ( $\text{pH}<5$ ), кислые ( $\text{pH}=5-7$ ), нейтральные ( $\text{pH}=7$ ), щелочные ( $\text{pH}=7-9$ ) и высокощелочные ( $\text{pH}>9$ ). Подземные воды в большинстве своем имеют слабощелочную реакцию. Воды сульфидных и особенно колчеданных и каменноугольных месторождений обычно кислые и часто весьма кислые.

Концентрацию водородных ионов необходимо определять на месте взятия пробы воды. Наиболее часто применяется *колориметрический* способ, основанный на свойстве индикаторов менять окраску в зависимости от концентрации водородных ионов.

Органические примеси в природных водах имеют разнообразное происхождение; встречаются преимущественно в водах, залегающих на небольшой глубине. Органические вещества животного происхождения почти всегда служат показателем загрязнения воды патогенными бактериями. Количество органических веществ в воде оценивается по *окисляемости*, под которой понимается количество кислорода или марганцевокислого калия, расходуемых на окисление органических примесей; 1 мг  $\text{O}_2$  или 4 мг  $\text{KMnO}_4$  соответствуют 21 мг органического вещества. В питьевых водах окисляемость не должна превышать 10 мг/л  $\text{KMnO}_4$ .

Бактериальные свойства подземных вод обуславливаются наличием в них микроорганизмов, в том числе, возможно, и патогенных. В пробах воды обнаруживается от сотен



до миллионов бактерий в 1 см<sup>3</sup>. О бактериальной загрязненности воды судят по *коли-титру* — объему воды в кубических сантиметрах, в котором содержится одна кишечная палочка, и по *коли-тесту* — количеству кишечных палочек в 1 л воды.

Жесткость воды — особое ее качество, обусловленное присутствием  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Жесткость подземных вод имеет большое значение при их оценке для практического использования. Жесткая вода плохо взмывается, дает накипь в паровых котлах (что уменьшает их теплопроводность, приводит к перерасходу топлива и может вызвать аварию) и в посуде, вспенивается, в жесткой воде медленнее развариваются овощи, мясо, крупы и другие продукты.

Различают *общую жесткость*, обусловленную содержанием в воде всех солей кальция и магния; *карбонатную* (устраняемая, или временная), обусловленную наличием в воде бикарбонатов (солей  $\text{HCO}_3$ ) кальция и магния, удаляемых при кипячении вследствие их разрушения и перехода в слаборастворимые карбонаты, выпадающие в осадок; *постоянную*, остающуюся в воде после удаления бикарбонатов, равную общей за вычетом устранимой.

Раньше жесткость выражали в градусах. За один градус условно принимали жесткость воды, отвечающую содержанию в 1 л 10 мг  $\text{CaO}$ . В настоящее время в СССР жесткость воды выражают в мг·эquiv/л  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ ; 1 мг·эquiv/л соответствует содержанию 20,04 мг/л  $\text{Ca}^{2+}$  или 12,16 мг/л  $\text{Mg}^{2+}$  и равен 2,8° (по прежнему способу выражения жесткости).

Жесткость природных вод колеблется в пределах от нескольких до десятков и сотен миллиграмм-эквивалентов на литр; в одном и том же водоисточнике жесткость неодинаковая в разные времена года.

Жесткие воды непригодны для многих отраслей промышленности: бумажной, сахарной, кожевенной, пивоваренной, для питания паровых котлов и т. п. В случае необходимости использования жестких вод для тех или иных целей их приходится обрабатывать специальными способами для снижения жесткости до требуемых норм, что подробно излагается в специальных руководствах.

Щелочность обуславливается наличием в воде гидратов натрия, карбонатов и бикарбонатов натрия и других солей слабых кислот. В зависимости от анионов, обуславливающих щелочность, различают *гидратную*, *карбонатную*, *бикарбонатную*, *фосфатную*, *силикатную*, *гуматную* и другие виды щелочности. 1 мг·эquiv/л щелочности соответствует содержанию 40 мг/л  $\text{NaOH}$ , 53 мг/л  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и 84,22 мг/л  $\text{NaHCO}_3$ . Общая щелочность (сумма всех видов) является важной характеристикой подземных вод, идущих на питание паросиловых установок и охлаждающих устройств.



## § 34. Оценка качества воды

Оценка качества питьевой воды. Питьевая вода должна быть бесцветной, прозрачной, иметь температуру от 4 до 15°С, не иметь неприятного вкуса и запаха, не содержать болезнетворных бактерий, солей тяжелых металлов. Вода должна быть надежно изолирована от источников загрязнения.

При выборе и оценке воды источника централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения пользуются государственными стандартами (ГОСТ 17.1.3.03—77; 2874—73 и др.). Сумма растворенных в воде веществ — сухой остаток при 105—110°С — не должна превышать 1000 мг/л. Возможность использования вод с более высокой минерализацией устанавливается органами государственной санитарной инспекции в зависимости от местных условий. Общая жесткость воды должна быть не выше 7 мг·экв/л и в исключительных случаях не более 14 мг·экв/л. При большей жесткости воду следует смягчать. В отдельных районах, например в сухих степях Северного Кавказа и Украины, из-за отсутствия лучшей используют воду, содержащую сухой остаток до 1500—2500 мг/л, хлора до 450—600 мг/л, сульфатов до 300—500 мг/л и с жесткостью 10—14 мг·экв/л; а иногда и более минерализованные.

Совершенно не допускается присутствие в питьевой воде аммиака и азотной кислоты, указывающих на современное загрязнение воды продуктами разложения органических веществ.

Питьевая вода, подаваемая без очистки, может содержать (в мг/л): свинца не более 0,1; мышьяка 0,05; фтора 1,5; меди 3; цинка 5; железа 0,3; фенола 0,01 и не содержать следов других ядовитых веществ. Необходимо учитывать изменения химического состава воды в дальнейшем.

В воде должны отсутствовать бактерии брюшного тифа, холеры и дизентерии. Показателем загрязненности воды патогенными бактериями служит кишечная палочка коли. Палочка коли сама по себе безвредна, но указывает на возможность присутствия болезнетворных бактерий. Загрязненность воды оценивается величиной коли-титра. Для водопроводов, подающих воду без очистки, допускается коли-титр более 300 см<sup>3</sup> или коли-тест меньше 3.

Оценка качества технической воды. Каждое производство (бумажное, кожевенное, консервное и др.) предъявляет свои требования к воде, с учетом которых и дается оценка пригодности воды. Вода для промышленных целей, как правило, должна быть прозрачной, бесцветной, без запаха и по возможности мягкой.

Вода, идущая на питание паровых котлов, оценивается накипеобразованием, вспениванием и коррозией стенок котла, вычисляемыми по особым формулам, приведенным в справоч-



никах и специальной литературе [23 и др.]. Для питания котлов вода должна иметь сухой остаток не более 300 мг/л, содержать хлора не менее 200 мг/л, агрессивная кислота должна отсутствовать, жесткость должна быть менее 1,8 (для трудно очищаемых котлов) и 3 мг·экв/л (для легко очищаемых) и удовлетворять некоторым другим требованиям. Особо высокие требования предъявляются к воде, идущей на питание современных паровых котлов, вырабатывающих пар высоких параметров.

### § 35. Агрессивные свойства подземных вод

Агрессивность воды по отношению к бетону. Агрессивной по отношению к бетону обычно является вода, содержащая сульфаты сверх допустимого количества и агрессивную углекислоту. Соответственно различают сульфатную и углекислотную агрессивность воды. Кроме того, агрессивность может быть выщелачивающая, магниезиальная и общекислотная.

Сульфатная агрессивность. При наличии в воде сульфатов  $\text{SO}_4^{2-}$  свыше 250 мг/л и при одновременном содержании иона  $\text{Cl}^-$  свыше 1000 мг/л происходит кристаллизация в бетоне новых соединений; образуются гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  с увеличением объема в 2—3 раза и сульфаталюминат кальция (бетонная бацилла) с увеличением объема в 2,5 раза, что и приводит к разрушению бетона.

При углекислотной агрессивности (при воздействии агрессивной угольной кислоты) происходит растворение и выщелачивание из бетона составных частей, в той или иной мере растворимых в воде (главным образом извести  $\text{CaCO}_3$ , составляющей основную часть цемента).

Агрессивность выщелачивания зависит от бикарбонатной щелочности, если содержание последней меньше 1,5 мг·экв/л, происходит растворение и вымыв из бетона его составной части — извести.

Общекислотная агрессивность обусловлена низким значением водородного показателя рН (менее 7 при временной жесткости менее 8,6 мг·экв/л и менее 6—7 при временной жесткости более 8,6 мг·экв/л), вследствие чего усиливается растворение извести.

Магниезиальная агрессивность, как и сульфатная, ведет к разрушению бетона при проникновении в тело бетона воды с повышенным содержанием  $\text{Mg}^{2+}$  (свыше 1000 мг/л).

Кислородная агрессивность обуславливается наличием в воде кислорода и проявляется преимущественно по отношению к металлическим предметам (трубам, насосам, рельсам и т. п.), вызывая их *коррозию*. Вообще агрессивность подземных вод

детально учитывается в соответствии с требованиями инструкции СН 249 — 63.

Если качество воды не удовлетворяет требованиям потребителя, то воду улучшают различными способами: осветлением, хлорированием, умягчением, химической обработкой и другими способами. Подробно методы и технология улучшения качества воды изложены в СНиПе II 31—74 и справочной литературе [32].

## Глава VI

### ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ

#### § 36. Общие сведения

При характеристике горных пород в гидрогеологическом отношении применяются следующие понятия и термины, характеризующие различные формы скопления подземных вод в породах.

Водоносные породы — пласты, линзы и другие формы залегания водопроницаемых пород, в которых поры, трещины и другие пустоты заполнены гравитационной водой.

Водоносный горизонт — толща горных пород, насыщенных водой и залегающих между двумя водоупорными толщами горных пород или только подстилаемых водоупорными породами. Водоносный горизонт может состоять из пород разного литологического состава.

Водоносный комплекс — толща водоносных пород, более или менее однородная по характеру водоносности и возрасту, состоящая из нескольких водоносных горизонтов и разделяющих их толщ водоупорных пород.

Площадь, в пределах которой распространен водоносный горизонт или водоносный комплекс, называется *областью*, или площадью их *распространения*, а площадь, где происходит питание водоносного горизонта, — *областью питания*. Площадь, где подземные воды вытекают из водоносного горизонта или водоносного комплекса, называется — *областью разгрузки*, или *дренажа*. Области питания и распространения водоносных горизонтов (комплексов) могут совпадать (в случае безнапорных вод) и не совпадать (в случае напорных вод).

#### § 37. Воды зоны аэрации, грунтовые воды и особенности их залегания

Воды зоны аэрации — это воды, залегающие выше зоны полного насыщения горных пород. К ним относятся почвенные



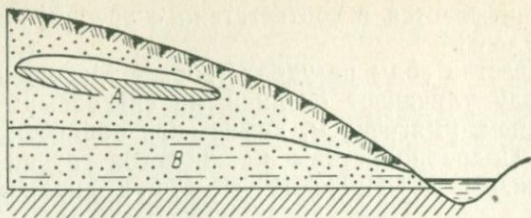


Рис. 24. Схема залегания верховодки

воды и верховодка. Почвенные воды приурочены к почвенному слою; они имеют самое существенное значение для плодородия почв и в основном изучаются почвоведомы, агрохимиками и агрономами.

**Верховодка.** Если в толще водопроницаемых пород залегает линза слабо- или водонепроницаемых пород, то инфильтрующиеся сверху в водопроницаемые породы осадки, достигая линзы *A* (рис. 24), задерживаются и скапливаются, располагаясь выше грунтовых вод *B*. Подобная разновидность подземных вод называется *верховодкой*. Характерными ее признаками являются относительно небольшое площадное распространение, сезонность существования, сравнительно небольшая мощность водонасыщенной породы и небольшие запасы. При ведении работ по отрывке выемки или горных работ по вскрытию месторождений полезных ископаемых (гравия, песка и т. п.) наличие верховодки в откосах выемки может обусловить образование оплывин, сплывов и даже оползней. Поэтому выявление верховодки и своевременное ее дренирование совершенно необходимо при устройстве карьеров и других сооружений.

**Грунтовые воды** — подземные воды первого от поверхности постоянно существующего водоносного горизонта, расположенного на первом водонепроницаемом слое (см. рис. 24). Грунтовые воды распространены почти повсеместно. В жизни человека они играют большую роль. Почти все сельские населенные пункты, а также многие города обеспечивают свои потребности в воде путем использования грунтовых вод.

Грунтовые воды имеют свободную поверхность, т. е. являются *безнапорными*. Расстояние от водоупора до поверхности грунтовых вод называется *мощностью водоносного горизонта*. Поверхность грунтовых вод называется *уровнем, скатертью* или *зеркалом* (чаще). Глубина залегания зеркала грунтовых вод различна; от долей метра в зонах избыточного увлажнения до нескольких десятков метров в степных районах Украины и Северного Кавказа.

Выше зеркала грунтовых вод расположена зона *аэрации*. В породах этой зоны (в порах, трещинах и других пустотах)

находятся физически связанная и капиллярная вода, а часть пустот занята парообразной влагой и воздухом.

Областью разгрузки (дренирования) грунтовых вод являются близлежащие долины рек и оврагов, которые называются *местным базисом подземного стока*.

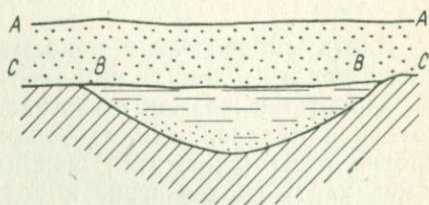


Рис. 25. Схема бассейна грунтовых вод:

А—А — поверхность земли; С—С — водоупорные породы; В—В — уровень грунтовых вод

Для грунтовых вод характерны следующие признаки: неполное заполнение ими водопроницаемого пласта; совпадение области питания с областью их распространения; отсутствие напора; постоянное колебание уровня, обуславливающее изменение мощности водоносного горизонта и тем самым запасов грунтовых вод во времени; изменение во времени физических свойств, химического, газового и бактериального состава; легкая загрязненность различными веществами, вносимыми в грунтовые воды инфильтрующейся с поверхности водой. Грунтовые воды гидравлически связаны с поверхностными водотоками и водоемами. Питание грунтовых вод происходит в основном путем инфильтрации атмосферных осадков и частично за счет конденсации.

Грунтовые воды, у которых зеркало представляет собой горизонтальную поверхность, называются *бассейном* грунтовых вод; последние образуются при наличии в водоупорном ложе котловин (рис. 25). Грунтовые воды с наклонным зеркалом называются *потоком* грунтовых вод (см. рис. 24). В природных условиях часто наблюдается сочетание потоков грунтовых вод с бассейнами.

Понятие о режиме грунтовых вод. Условия залегания, питания и движения грунтовых вод во времени непостоянны, что обуславливает изменение их зеркала, физических свойств, химического состава, скорости движения, количества и т. п. Так как грунтовые воды в жизни человека имеют огромное значение, то указанные изменения с давних пор изучаются для установления закономерностей, обуславливающих эти изменения. Раздел гидрогеологии, изучающий изменения подземных вод во времени, называется «Учение о режиме подземных вод». Под *режимом* подземных вод понимают поведение их во времени под влиянием геологических и климатических факторов и производственной деятельности человека. На режим грунтовых вод влияют в основном условия питания, за-



висящие в свою очередь от климата, рельефа, литологии пород, характера растительности и других факторов, а также взаимосвязь с поверхностными водотоками и водоемами, уровень воды в которых также подвержен изменениям во времени.

### § 38. Карты гидроизогипс

Карта *гидроизогипс* показывает положение зеркала грунтовых вод в изолиниях на какой-либо период времени (рис. 26). Их строят так же, как и изогипсы рельефа земной поверхности, соединяя плавной линией точки с одинаковыми отметками уровня воды (скважины, колодцы или промежуточные точки). Имея карту гидроизогипс и рельефа поверхности земли, можно легко определить глубину залегания зеркала грунтовых вод в любой точке на карте (для чего необходимо вычесть из отметки поверхности земли отметку зеркала грунтовых вод), направление движения грунтовых вод, что выразится направлением перпендикуляра, проведенного между соседними гидроизогипсами в сторону гидроизогипсы с меньшей отметкой (см. на рис. 26 точку *C*), а также уклон грунтового потока, для чего берут разность отметки между гидроизогипсами и делят на расстояние между ними.

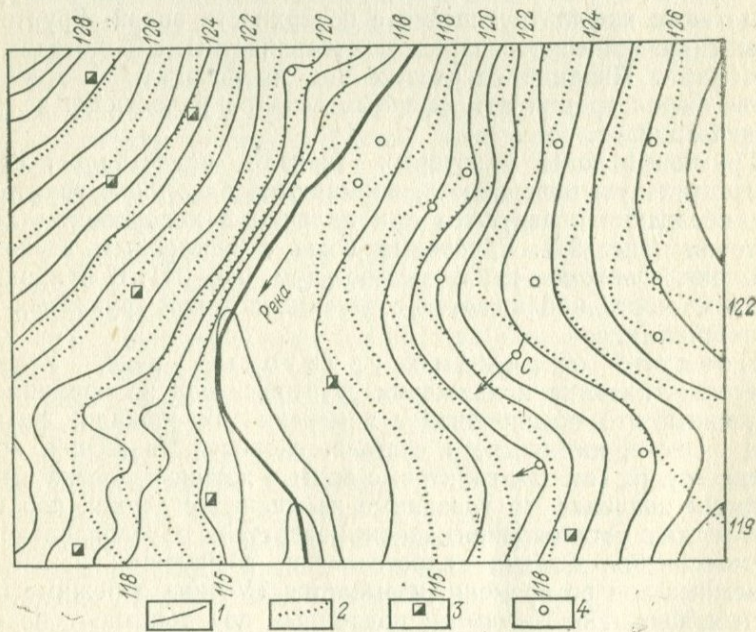


Рис. 26. Карта гидроизогипс.

1 — горизонтали поверхности земли; 2 — гидроизогипсы; 3 — колодцы; 4 — скважины

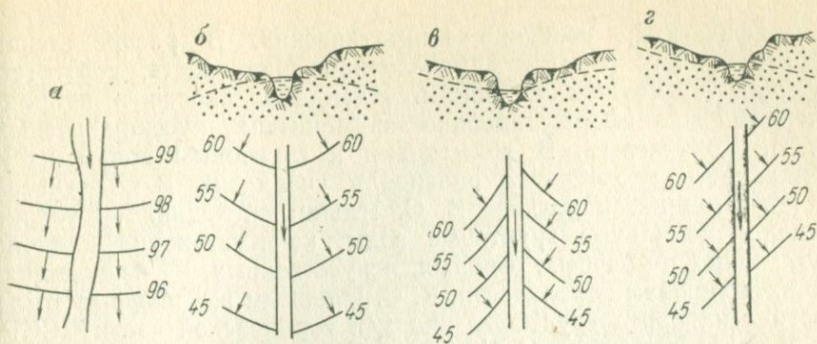


Рис. 27. Соотношение между поверхностными и грунтовыми водами:  
 а — взаимосвязи между поверхностными и грунтовыми водами не имеется; б — река питает грунтовые воды; в — река дренирует грунтовые воды; г — река дренирует грунтовые воды на правом берегу и питает их на левом

Между грунтовыми и поверхностными водами существует постоянная гидравлическая связь. В период весенних половодий, а также при выпадении обильных осадков уровень поверхностных вод (рек, озер, прудов, водохранилищ) повышается и может превысить уровень грунтовых вод на прилегающих территориях, что обуславливает питание грунтовых вод за счет поверхностных. В меженный период наблюдается обратное явление: грунтовые воды питают поверхностные водоемы. О характере гидравлической связи между поверхностными и грунтовыми водами нагляднее всего можно судить по карте гидроизогипс (рис. 27). Если гидравлической связи между этими водами нет, то гидроизогипсы пересекают поверхностный водоток без искривлений (см. рис. 27, а); если грунтовые воды питаются поверхностными, гидроизогипсы изгибаются вниз по течению (см. рис. 27, б); если грунтовые воды питают поверхностные, гидроизогипсы изогнуты вверх по течению (см. рис. 27, в); если с одной стороны грунтовые воды питают поверхностные, а с другой стороны будут изогнуты вверх по течению, а с другой — вниз (см. рис. 27, г).

При гидрогеологических исследованиях определение характера взаимодействия изучаемого водоносного горизонта с поверхностными водами во времени является важной задачей, так как это имеет существенное значение при решении вопросов водоснабжения путем использования грунтовых вод или же при решении вопросов борьбы с притоками грунтовых вод в котлованы, выемки и другие сооружения.

### § 39. Зональность грунтовых вод

Количество, качество и глубина залегания грунтовых вод зависят не только от геологических факторов, но и от обще-



географических, особенно климатических. В распределении грунтовых вод имеется определенная зональность, соответствующая климатическим зонам. Идея зональности в природе впервые была сформулирована знаменитым русским ученым В. В. Докучаевым. В применении к грунтовым водам идею зональности плодотворно развивали ученик В. В. Докучаева П. В. Отоцкий, а позднее В. С. Ильин; последний не только выделил зональные грунтовые воды, но и установил наличие азональных — речных, озерных, искусственных, — не подчиняющихся законам зональности. В. С. Ильиним же впервые была составлена карта грунтовых вод для европейской части СССР.

В последнее время О. К. Ланге, Г. Н. Каменский, И. В. Гармонов и другие опубликовали свои карты зональных грунтовых вод.

#### § 40. Основные типы грунтовых вод

Грунтовые воды речных долин имеют большое народнохозяйственное значение, они широко используются для водоснабжения населенных пунктов. Речные долины обычно выполнены песчано-глинистыми образованиями, причем чаще всего верхняя их часть сложена суглинками и глинами, а нижняя — песками и нередко гравием и галькой. Вследствие этого наиболее водообильной является нижняя часть аллювиальных отложений. Часто по долинам рек наблюдаются переуглубленные участки коренного ложа, представляющие собой древние русла, выполненные более грубообломочным материалом: крупнозернистыми песками, гравием и даже галькой. К древним погребенным руслам обычно приурочены мощные потоки грунтовых вод с расходом до сотен и тысяч кубометров в сутки и больше. Следовательно, при гидрогеологических исследованиях подобные переуглубленные участки необходимо выявлять и изучать. Глубина залегания грунтовых вод аллювия изменяется от долей до 15 м и более. По химическому составу воды аллювиальных отложений в большинстве своем слабоминерализованные, относятся к гидрокарбонатно-кальциевым. Эксплуатируются грунтовые воды речных долин неглубокими колодцами и водозаборами иного типа.

Грунтовые воды ледниковых отложений. Отложения ледникового комплекса широко распространены на территории европейской части СССР, главным образом в северной ее половине, Польше и других странах. Представлены они неотсортированными валунными глинами и суглинками, а также песчаными отложениями, которые и являются водоносными. Условия залегания грунтовых вод в ледниковых отложениях крайне разнообразны. Грунтовые воды ледниковых отложений широко используются для водоснабжения даже крупных городов.

Грунтовые воды степей, полупустынь и пустынь. Степи и особенно пустыни и полупустыни (районы Прикаспия и Средней Азии) характеризуются малым количеством осадков (150—200 мм/год) и значительным испарением (до 1500 мм/год).

Общие физико-географические и особенно климатические условия для накопления грунтовых вод в степях, пустынях и полупустынях крайне неблагоприятны. Этим и объясняется то, что в указанных районах вопросы водоснабжения являются весьма сложными, так как имеющиеся здесь грунтовые воды, наиболее доступные для водоснабжения, как правило, сильно минерализованные. В степях, на возвышенных участках (водоразделах) грунтовые воды к тому же обычно находятся на большой глубине и тоже минерализованы.

В последние годы в пустынных районах обнаружены линзы пресных вод, залегающих на соленых; площадь линз иногда достигает тысяч квадратных километров, а мощность — десятков метров. В настоящее время воды пресных линз широко используются для водоснабжения.

Грунтовые воды горных областей. В горных областях количество атмосферных осадков обычно повышенное. Хотя большая их часть стекает в результате изрезанности рельефа, тем не менее вследствие выветрелости и трещиноватости горных пород часть атмосферных осадков инфильтруется, что и обуславливает выход по склонам горных рек многочисленных источников, нередко со значительным дебитом (десятки и сотни литров в секунду и больше). Режим подобных источников резко изменяется по сезонам, а также по годам в зависимости от количества и характера выпадающих осадков.

Горные реки выносят в прилегающие равнины огромное количество продуктов разрушения горных пород, которые отлагаются в виде конусов выноса. Состоят последние из грубообломочного материала. Конусы выноса отдельных рек в предгорных районах сливаются, образуя наклонные предгорные равнины, песчано-галечниковые отложения которых включают мощные потоки грунтовых вод, обычно слабominерализованных. Это позволяет широко использовать грунтовые воды предгорных наклонных равнин для целей водоснабжения и орошения.

К террасовым отложениям долин горных рек, состоящих часто из гравия и гальки, приурочены значительные потоки грунтовых вод, которые в нужных случаях и эксплуатируются.

Болотные воды — воды болот и заболоченных земель. Гидрогеологическое изучение болотных вод проводится при осушении заболоченных территорий; правильный выбор способа осушения зависит от типа болотных котловин, условий питания болот, их растительного покрова и других факторов. При осушении болот и заболоченных земель приходится ре-



шать следующие задачи: ускорение оттока почвенно-грунтовых вод, понижение и регулирование их уровня; недопущение притока на данную площадь грунтовых или поверхностных вод. В настоящее время в нашей стране в широких масштабах проводятся мелиоративные работы по осушению избыточно увлажненных территорий для использования их в сельскохозяйственных целях особенно в районах нечерноземной зоны РСФСР.

## Глава VII

### АРТЕЗИАНСКИЕ ВОДЫ

#### § 41. Условия залегания артезианских вод

Артезианские воды — межпластовые подземные воды, заключенные в более или менее глубоких водоносных горизонтах, залегающих между водонепроницаемыми пластами, и находящиеся под гидростатическим давлением. При их вскрытии скважинами артезианские воды поднимаются выше кровли водоносного пласта и, если отметка напорного уровня пре-

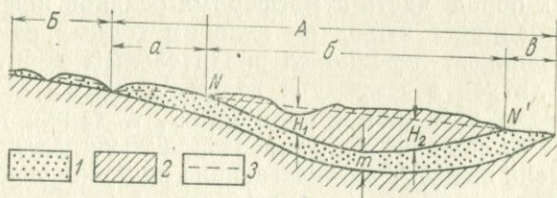


Рис. 28. Схема артезианских вод.

1 — водоносный пласт; 2 — водоупорные породы; 3 — пьезометрический уровень воды; А — пределы распространения артезианских вод; а — область питания; б — область напора; в — область разгрузки; Б — пределы распространения грунтовых вод;  $H_1$  — напорный уровень выше поверхности земли;  $H_2$  — напорный уровень ниже поверхности земли;  $N$ — $N'$  — пьезометрическая поверхность;  $t$  — мощность водоносного пласта

вышает отметку поверхности земли в данном пункте, вода будет изливаться выше поверхности земли (рис. 28). Геологическими структурами, способствующими образованию артезианских вод, являются синеклизы, мульды, моноклинали и т. п. Гидростатическое давление тем более высокое, чем ниже располагается область стока относительно области питания.

Среди напорных вод различают *поровые пластовые*, приуроченные к водоносным пластам, сложенным раздельнозернистыми породами (песками, гравием и т. п.); *пластовые трещинные*, приуроченные к трещинам в осадочных скальных по-

родах (известняках, песчаниках, доломитах и т. п.), подстилаемых и перекрываемых водоупорными породами. Напорные воды могут быть также приурочены к тектоническим трещинам.

При вскрытии скважиной водоносного пласта с напорной водой уровень воды в ней поднимается выше водоупорной кровли водоносного горизонта; плоскость  $N-N'$ , определяющая положение напорного уровня в водоносном пласте (см. рис. 28), называется *пьезометрическим уровнем*. Высота подъема воды  $H$  выше водоупорной кровли называется *напором*.

Для характеристики артезианских водоносных горизонтов составляют следующие карты:

гидроизопьез, или *пьезоизогипс* (показывает в изолиниях абсолютные, реже относительные отметки пьезометрического уровня); *изогипс* водоупорной кровли. Строят подобные карты по методике, принятой в геодезии. Обычно карты поверхности земли в горизонталях, гидроизопьез и изогипс водоупорной кровли водоносного горизонта совмещают (рис. 29), что дает возможность легко решать ряд практических задач: определять глубину залегания артезианского водоносного горизонта в каждом пункте, величину напора, возможность фонтанирования в данном пункте, направление движения напорных вод, гидравлический уклон и др.

Режим артезианских вод в естественных условиях характеризуется большим постоянством по сравнению с режимом безнапорных вод. Большое влияние на режим напорных вод оказывает деятельность человека; из недр земли ежегодно извлекаются огромные массы подземных вод для нужд питьевого, хозяйственного и технического водоснабжения, лечебных целей, ирригации, добычи химического сырья, а также при искусственном водопонижении в связи с производством строительных, горных и других работ. Длительные и мощные откачки подземных вод существенным образом влияют на их режим. Во многих крупных городах мира с помощью буровых скважин в течение десятков лет эксплуатируются артезианские воды, в результате чего их уровни значительно снизились: в Москве — на 40—90 м, в Ленинграде — на 50 м, в Киеве — на 63 м, в Лондоне — более чем на 100 м, в Париже — более чем на 120 м; понижение уровней наблюдается на пло-

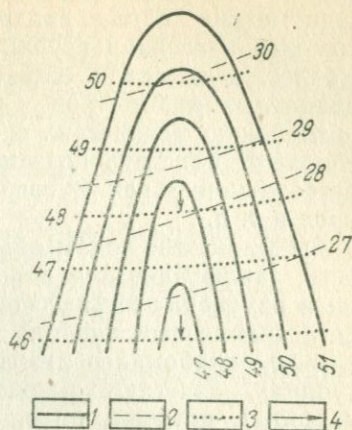


Рис. 29. Схематическая карта пьезоизогипса.

1 — горизонтали поверхности земли; 2 — пьезоизогипс; 3 — горизонтали кровли водоносного горизонта; 4 — направление движения напорных вод



щади многих сотен квадратных километров. В отдельных угольных бассейнах глубина обезвоживания достигает 1000 м и более, а площади обезвоживания достигают многих тысяч квадратных километров. Снижение уровней обычно приводит к изменению физических свойств, химического, газового и бактериального состава подземных вод, к исчезновению родников, обезвоживанию рек и озер, изменению состояния и свойств пород и т. п.

Артезианским водам обычно присуща вертикальная зональность, заключающаяся в постепенном увеличении минерализации и изменении химического типа воды с глубиной. В верхней части водоносных пластов до глубины 100—600 м (примерно) залегают слабоминерализованные пресные воды. На больших глубинах залегают высокоминерализованные напорные воды (рассолы), которые, по-видимому, образовались в основном путем захоронения морских соленых вод, претерпевших в ходе диагенеза существенные изменения.

#### § 42. Примеры артезианских бассейнов СССР

Геологические структуры, к которым приурочены артезианские водоносные горизонты, называются *артезианскими бассейнами*. Артезианские бассейны выделяются на основании тектонических, стратиграфических и литологических признаков. Они имеют различную площадь: от десятков до сотен и миллионов квадратных километров. В пределах СССР имеются многочисленные артезианские бассейны, воды которых в огромных количествах используются на самые различные нужды, в основном для питьевого водоснабжения. По тектоническим особенностям артезианские бассейны делятся на бассейны *платформенного типа, массивов и складчатых областей*. Бассейны платформенного типа обычно приурочены к крупным тектоническим понижениям, распространенным на огромных пространствах и всегда содержащим несколько водоносных горизонтов, расположенных поэтажно. Артезианские бассейны складчатых областей занимают обычно небольшие площади, располагаясь в предгорьях или межгорных впадинах и образуя малые и средние артезианские бассейны. Артезианские бассейны массивов занимают промежуточное положение. Артезианские бассейны СССР описаны в многочисленной литературе.

#### § 43. Межпластовые безнапорные воды

Межпластовые безнапорные воды встречаются сравнительно редко. В частности, надугольный водоносный горизонт на бурогольных месторождениях Днепровского бассейна является типичным примером межпластовых безнапорных подземных вод. Последние характерны для многих месторождений Канско-

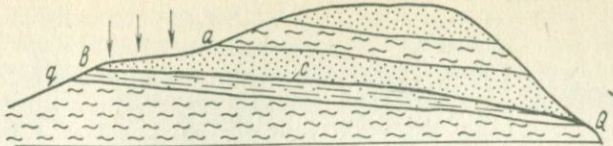


Рис. 30. Схема межпластового безнапорного водоносного горизонта:

$a-b$  — область питания;  $c$  — уровень подземных вод;  $q$  — слабый источник в области питания;  $Q$  — более мощный источник в области дренирования

Ачинского буроугольного бассейна, Черемховского бассейна и некоторых других.

Иногда безнапорные воды в силу особенностей геологического строения участка приобретают местный напор. В подобных случаях они называются грунтовыми и межпластовыми напорно-безнапорными водоносными горизонтами.

Обычно межпластовые подземные воды приурочены к песчаным пластам значительной мощности, залегающим выше базиса эрозии местной гидрографической сети (рис. 30). Питание межпластовых безнапорных вод осуществляется преимущественно по долинам балок и оврагов, где породы, слагающие водоносный горизонт межпластовых вод, обнажаются на поверхности. Области питания и распространения межпластовых вод не совпадают. По условиям передвижения межпластовые безнапорные подземные воды аналогичны грунтовой воде. В местах выходов водоносного горизонта на поверхность образуются нисходящие источники.

Так же, как и грунтовые воды, межпластовые безнапорные воды могут образовать потоки и бассейны подземных вод.

#### § 44. Источники

Источники — сосредоточенные естественные выходы подземных вод на поверхности земли или под водой (подводный источник). Иначе источники именуется *родниками, ключами, криницами*. Источники представляют собой области дренирования, или разгрузки, водоносных горизонтов в местах, где последние вскрываются эрозионной сетью.

Выходы подземных вод на поверхность земли могут быть разнообразными (рис. 31). Поэтому существуют различные классификации источников. Чаще всего они классифицируются по характеру выхода (гидравлическому признаку) на нисходящие и восходящие.

Нисходящие источники образуются при выходе на земную поверхность грунтовых или безнапорных межпластовых вод. Обычно нисходящие источники образуются на склонах речных долин, балок, оврагов и других местных понижений.



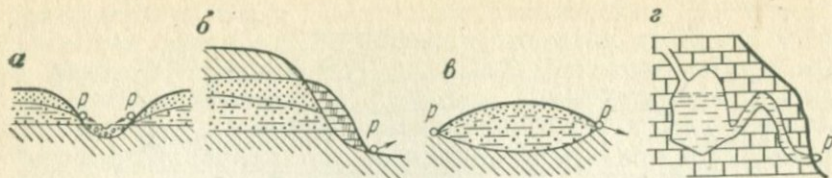


Рис. 31. Схемы выходов источников:

а — симметричное расположение источников; б — источник, перекрытый делювием; в — переливающийся источник; г — сифонный источник

Дебит таких источников зависит от ряда факторов и изменяется от долей литра в секунду до нескольких десятков кубических метров в секунду; последнее обычно присуще источникам, приуроченным к закарстованным известнякам. Источники, вытекающие из песчаных водоносных горизонтов, обычно имеют дебит до 1 л/с. Водами нисходящих источников повсеместно пользуются для водоснабжения.

Восходящие источники образуются при выходе на дневную поверхность пластового напорного (артезианского) горизонта или водоносной жилы в кристаллических породах, содержащей напорные воды (*жилые*, или *трещинные*, источники).

Вода восходящих источников часто имеет лечебное значение (нарзан в Кисловодске, радоновые воды в Цхалтубо, источник Дарасун в Забайкалье и др.).

Источники классифицируются и по другим признакам: по дебиту (на постоянные, слабо изменчивые, изменчивые); по химизму (на пресные, минерализованные, солоноватые, соленые, минеральные); по температуре (на холодные, теплые, горячие, кипящие); по времени существования (на постоянные, периодические, сезонные) и др.

Для определения типа источников необходим очень тщательный анализ: геологии района, расположения источников, гидрогеологических условий, химического состава вод источников, изучения режима источников и других факторов, дающих возможность определить характер выхода воды на поверхность и практическую ценность данного источника. Часто разведочные работы проводятся с целью детального изучения источника, при этом очень важное значение имеет установление места главного выхода источника и их дериватов, представляющих собой боковые ответвления главного выхода. Каптажные или захватные сооружения чаще всего закладывают с целью использования главного выхода источника.

Режим источников зависит от многих факторов как естественных, так и искусственных. По Н. Н. Биндеману, естественный режим источников подчиняется следующим закономерностям; чем больше совпадают площади питания и распро-

странения водоносного горизонта, тем значительнее колебания дебитов; колебания дебитов тем значительнее, чем ближе область питания к зоне дренирования; колебания дебита тем более значительны, чем больше коэффициент фильтрации водоносного горизонта; если зона аэрации сложена слабопроницаемыми породами, колебания дебитов невелики.

## Глава VIII

### ТРЕЩИННЫЕ И КАРСТОВЫЕ ВОДЫ

#### § 45. Трещинные воды

Все скальные горные породы (магматические, метаморфические и осадочные) разбиты системой трещин, происхождение которых, размеры, форма и положение в пространстве самые различные.

В верхней части земной коры под действием выветривания (температуры, воды и ветра) в скальных породах образуются *трещины выветривания* иногда значительных размеров. Глубина этих трещин определяется мощностью наиболее интенсивной зоны выветривания и, как правило, не превышает нескольких десятков метров, достигая иногда глубины 100 м и более. В зависимости от физико-географических и геологических условий, а также от состава скальных пород в трещинах выветривания может находиться то или другое количество подземных вод — безнапорных или напорных.

*Литогенетические трещины*, развивающиеся в эффузивных породах, имеют нередко значительные размеры и включают мощные потоки грунтовых вод. В Грузии и Армении трещиноватые лавы четвертичного возраста обычно выполняют неровности древнего рельефа; коренные, более древние породы являются водоупорными, что создает благоприятные условия для образования бассейнов и потоков грунтовых вод, выходящих в виде мощных нисходящих источников в местах, где лавовые потоки вскрываются местной эрозионной сетью, обычно глубоко врезанной; такие источники широко используются для водоснабжения.

*Пластово-трещинные воды* приурочены к трещинам скальных осадочных и метаморфических пород (песчаникам, известнякам и т. п.), залегающим между водоупорными породами, которыми обычно являются аргиллиты или глинистые сланцы. Пластово-трещинные воды широко распространены на месторождениях каменных углей Донецкого, Кузнецкого, Карагандинского и других бассейнов, а также в обширных артезианских бассейнах (Подмосковном, Днепровско-Донецкой впадине и др.).



*Тектонические трещины* обычно являются путями циркуляции подземных вод в значительных количествах. Сбросы нередко сопровождаются брекчиями трения в зонах раздавленных пород, по которым подземные воды циркулируют наиболее свободно.

Напорные воды в крупных тектонических трещинах земной коры называются *жилльными водами*; они характеризуются глубокой циркуляцией по породам различного состава и возраста.

Нередко напор трещинных вод обуславливается давлением газа, поступающего из более глубоких зон земной коры, а также давлением водяных паров; последний случай имеет место тогда, когда горячая вода с температурой более 100° С вырывается из глубин на поверхность земли, что наблюдается на Камчатке, в Исландии, Новой Зеландии и других местах. Подобные выходы трещинных горячих вод и газа называются *гейзерами*.

К глубоким трещинам приурочены многие минеральные и термальные источники, часто имеющие лечебное значение. Воды подобных источников иногда выносятся на поверхность земли в растворенном виде элементы, не встречающиеся в подземных водах, циркулирующих в верхних зонах земной коры.

В пределах СССР трещинные воды широко развиты на площади Балтийского и Украинского кристаллических щитов, в Карпатах, в горных районах Кавказа, Закавказья, на Урале, в Средней Азии и других местах, где используются для водоснабжения и в лечебных целях.

## § 46. Карстовые воды

Под *карстом* понимают совокупность явлений, связанных с деятельностью подземных вод и выражающихся в растворении, выщелачивании и механическом размыве горных пород (известняков, доломитов, гипса, ангидритов и солей) и образовании в них пустот (каналов, пещер и т. п.). Карст представляет собой явление, подчиняющееся в основном региональным условиям — климату, тектонике и морфологии местности, где распространены породы, способные растворяться и выщелачиваться в воде, что является главным фактором процессов карстообразования.

Карстовые области обычно бедны поверхностными водотоками, так как многие ручьи и реки уходят в подземные пустоты. В карстовых районах поглощение атмосферных осадков происходит очень быстро через зияющие трещины и воронки, куда вода устремляется с большой скоростью; образующиеся подобным путем подземные воды называются *инфлюационными* (проваливающимися).

Характерными особенностями режима карстовых вод являются: тесная и активная связь с атмосферными осадками; боль-

шая амплитуда колебаний уровней воды и дебитов источников, вплоть до полного иссякания; легкая возможность загрязнения, в том числе органическими веществами.

Проведение выработок в закарстованных и трещиноватых породах требует особого внимания во избежание непредвиденных прорывов подземных вод. Иногда гидрогеологические условия некоторых месторождений в карстовых районах таковы, что исключают возможность разработки полезного ископаемого ниже уровня подземных вод.

На территории СССР карстовые воды широко распространены. Изучены они наиболее детально под Ленинградом, в Прибалтике, Тульской, Московской и других центральных областях, Карпатах, Крыму, Средней Азии, на Кавказе, Уфимском плато, западном склоне Урала, Алтае и в других районах.

В связи с широким распространением карстовые воды имеют большое народнохозяйственное значение. Они широко используются для водоснабжения населения и промышленных предприятий. По западному склону Урала, в Южном Казахстане, Восточной Сибири и других местах имеются водозаборы, эксплуатирующие карстовые воды, суммарный дебит которых составляет 160—200 тыс. м<sup>3</sup>/сут; средний удельный дебит отдельных скважин составляет нередко 20—40 тыс. м<sup>3</sup>/сут, а дебит источников достигает иногда 200—400 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

При ведении горных работ подземным и открытым способами в районах распространения трещинных, особенно закарстованных, пород необходим детальный, исчерпывающий анализ существующих гидрогеологических условий в целях учета их при проектировании горных работ и разработке месторождения.

О значении карста при строительстве будет сказано в главе XII.

## *Глава IX*

### **ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ**

#### **§ 47. Общие сведения**

Многолетняя, или вечная, мерзлота представляет толщу горных пород, имеющих отрицательную температуру в течение неопределенно долгого времени, что обуславливает наличие в породах льда, цементирующего частицы пород. Площадь распространения многолетнемерзлых пород в СССР составляет 49,7% всей территории страны. На земном шаре площадь многолетней мерзлоты составляет около 24% всей суши.



Изучение многолетней мерзлоты в нашей стране и условий строительства в районах ее распространения различных объектов имеет огромное народнохозяйственное значение. Здесь выявлены многочисленные месторождения самых разнообразных полезных ископаемых: угля, железных руд, алмазов, олова, вольфрама, никеля, золота, нефти, газа и многих других, что вызвало рост в этих районах горнодобывающей промышленности и развитие других отраслей народного хозяйства и связанных с ними жилищного и дорожного строительства, в том числе и строительство БАМ.

Природные условия районов распространения многолетней, или вечной, мерзлоты (в технической литературе принято второе наименование, но по существу первое является более правильным) определяют специальные требования к проектированию, строительству и эксплуатации самых различных сооружений, несоблюдение которых обуславливает деформации сооружений или их разрушение.

#### § 48. Типы многолетней мерзлоты

На Крайнем Севере и северо-востоке многолетняя мерзлота распространена повсеместно. Это зона *сплошной мерзлоты и ископаемого*, или погребенного, льда. Несколько южнее располагается зона, где мерзлота местами отсутствует и залегают так называемые *талики*, — это зона *многолетней мерзлоты с островами таликов*. К ней с юга примыкают области, где вечная мерзлота распространяется только местами на общем фоне талых пород, — это зона *островной мерзлоты и перелетков* (перелетками называют небольшие линзы мерзлых пород, образующихся после суровых зим и сохраняющихся в течение двух-трех и иногда больше лет).

Верхний слой земной коры в районах распространения вечной мерзлоты в весенне-летний период оттаивает, а осенью и зимой замерзает. Если этот слой при промерзании зимой не сливается с толщей вечномерзлого грунта, то его называют *сезоннопромерзающим*, а если сливается — *сезоннооттаивающим*; в геологической литературе его именуют *деятельным слоем*. Мощность деятельного слоя в разных местах различна и зависит от климатических условий, рельефа, характера почвенного слоя, наличия растительности и ее вида, геологического строения, физических и тепловых свойств горных пород. В зависимости от сочетания указанных факторов мощность деятельного слоя изменяется от долей метра до 8 м. На крутых склонах, сложенных коренными породами, где отсутствует снежный покров, максимальная глубина промерзания (и оттаивания) в зависимости от степени трещиноватости, выветрелости и влажности может достигать более 10 м. В тонкодисперсных грунтах (суглинках и глинах) глубина сезонного промерзания и оттаивания редко превышает 3 м.



Опыт строительства в районах распространения вечномерзлых грунтов свидетельствует, что недоучет режима деятельного слоя приводит к самым печальным последствиям: дорсги, аэродромы, здания и другие сооружения деформируются и даже разрушаются. Поэтому установление мощности деятельного слоя и его температурного режима является одной из основных задач при проведении инженерных изысканий.

По глубине нередко зимнее промерзание не достигает вечномерзлой толщи пород; деятельный слой, образовавшийся за период летнего оттаивания, при этом не смыкается с вечномерзлым, — это *несливающаяся мерзлота*. Иногда на значительной глубине наблюдается чередование талых и вечномерзлых прослоев грунта. Подобное залегание называется *слоистой*, или *прерывистой, мерзлотой*. Причины образования слоистой мерзлоты разнообразны и полностью еще не изучены. При устройстве дорожных выемок и котлованов в районах расположения слоистой мерзлоты могут создаваться тяжелые условия при строительстве выемок и в период их эксплуатации, так как прослой талого грунта способствуют проявлению оползневых и других процессов, деформирующих откосы выемок и котлованов. Чтобы не допустить подобных отрицательных явлений, необходимо заранее осуществлять соответствующие профилактические мероприятия.

Ниже деятельного слоя залегает горизонт многолетнемерзлых горных пород, в пределах которого происходят сезонные колебания отрицательных температур; мощность этого горизонта изменяется от 3 до 15 и даже 30 м. Ниже слоя с сезонно-меняющейся температурой залегают породы с постоянной отрицательной температурой. На севере Таймырского полуострова среднеголетняя температура на глубине 10—15 м равна минус 13—15° С, в районе Оймякона — около 10—12° С ниже нуля, в районе Якутска на глубине 10—12 м — около минус 4° С, в Чите — около 2° С ниже нуля.

#### § 49. Основные типы подземных вод зоны многолетней мерзлоты

Подземные воды зоны вечной мерзлоты находятся во взаимодействии с подземными водами областей, примыкающих к ней. Многолетняя мерзлота прерывиста, пронизана таликами на всей площади ее распространения и поэтому не представляет собой преграды, полностью отделяющей подземные воды от поверхностных.

Подземные воды многолетней мерзлоты, по Н. И. Толстину, подразделяются на три категории: надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные.

Надмерзлотные воды, залегающие над зоной мерзлых пород, в свою очередь подразделяются на воды деятельного



слоя и воды многолетних надмерзлотных таликов. Надмерзлотные воды деятельного слоя залегают на толще многолетней мерзлоты, которая является для них водоупорным ложем. Они обычно распространены в пониженных формах рельефа и на широких плоских водораздельных пространствах, реже встречаются на склонах. Эти воды связаны с водопроницаемыми пористыми и трещинными породами различного происхождения и возраста, слагающими деятельный слой. В подавляющем большинстве случаев надмерзлотные воды залегают в четвертичных отложениях. Характерной особенностью этих вод является сезонная смена жидкой и твердой фаз. На севере длительность существования жидкой фазы определяется 2—3 месяцами летне-осеннего периода; по направлению к югу существование жидкой фазы увеличивается до 6 месяцев и более. Питание вод деятельного слоя происходит за счет атмосферных осадков и частично за счет поверхностных водотоков.

Водообильность деятельного слоя зависит от водопроницаемости протаивающих пород. В ряде случаев этот водоносный горизонт может служить временным источником водоснабжения для небольших поселков. При устройстве тепляков над водозабором и снегозадержании длительность эксплуатации надмерзлотных вод деятельного слоя может быть значительно увеличена. Каптировать воды этого горизонта удобнее всего колодцем или галереей. Колодцы и галереи следует располагать у подножия склонов, на конусах выноса и, вообще, в таких местах, где по местным морфологическим признакам должны быть наибольшее оттаивание и приток воды.

Режим надмерзлотных вод деятельного слоя тесно связан с ходом сезонного промерзания и оттаивания. С момента начала промерзания деятельного слоя сверху, в осеннее время, свободная поверхность надмерзлотного горизонта переходит в поверхность под напором, и поэтому воды превращаются в напорные, напор возрастает по мере увеличения промерзаемости грунта. В январе—марте промерзание деятельного слоя достигает максимума и горизонт сезонного промерзания сливается с вечномерзлой толщей.

В химическом отношении надмерзлотные воды сезонного слоя характеризуются малой минерализацией, значительным содержанием органических веществ и наличием гумусовых кислот. Температура их низкая и редко превышает  $5^{\circ}\text{C}$ .

*Воды многолетних надмерзлотных таликов* приурочены к многолетним таликам. Надмерзлотные воды многолетних таликов существуют благодаря тепловому влиянию поверхностных вод. Залегают подобные талики под озерами и руслами рек. По долинам крупных рек Сибири, несущих тепло, имеются сквозные талики, через которые осуществляется взаимосвязь надмерзлотных, межмерзлотных и подмерзлотных вод.

Наибольшее практическое значение имеют воды сквозных



таликов, питающиеся поверхностными и глубоко залегающими подземными водами. Отличаются эти воды постоянством качества и количества, минерализация их невысокая, жесткость 0,8—1,2 мг·экв/л, они широко распространены в бассейнах рек Лены и Колымы; дебит каптажных сооружений (скважин, галерей) нередко достигает десятков литров в секунду. Используются на питьевое и хозяйственно-техническое водоснабжение.

Межмерзлотные воды. К межмерзлотным водам, по Н. И. Толстихину, следует отнести как жидкие воды, циркулирующие в массиве вечномерзлых пород, так и твердую фазу — ископаемые льды и временно законсервированные многолетней мерзлотой мерзлые водоносные горизонты, некогда функционировавшие. Основным фактором, предохраняющим жидкие межмерзлотные воды от замерзания, является их динамичность, а также иногда высокая минерализация. По типу движения различают нисходящие межмерзлотные воды, питающие подмерзлотные воды, и восходящие, питающиеся за счет подмерзлотных. Межмерзлотные талики играют огромную роль, являясь путями связи над- и подмерзлотных вод, путями питания последних атмосферными осадками и поверхностными водами.

Среди разнообразных форм залегания межмерзлотных вод главнейшими являются *пластовые* (поровые и трещинные) и *жилые* воды. Поровые пластовые межмерзлотные воды чаще встречаются в аллювиальных отложениях, а также на месте староречий, где они представляют реликт подруслового потока. Жилые межмерзлотные воды чаще всего приурочены к зонам тектонических нарушений: трещинам сбросов, разломов, к жилам в изверженных породах.

При проходке горных выработок в случае пересечения межмерзлотных вод притоки с течением времени могут увеличиваться, что обуславливается увеличением водоносных путей вследствие оттаивания межмерзлотных льдов, льда в трещинах, мерзлых водоносных горизонтов и т. п.

В большинстве случаев межмерзлотные воды обладают напором. Область их питания не совпадает с областью распространения. Часто межмерзлотные воды имеют низкие температуры, вплоть до отрицательных, что наблюдается при их высокой минерализации.

Межмерзлотные воды в твердой фазе (залежи подземного льда в мерзлых породах) широко распространены в Центральной Якутии, на Ляховских и Новосибирских островах, в низовьях р. Лены и в других районах северо-востока Сибири. Подземные льды в мерзлых породах залегают в виде пластов, линз, жил, клиньев и других форм мощностью от долей до десятков метров.

Разведка и изучение межмерзлотных вод представляют значительные трудности вследствие различных форм их залегания.



Подмерзлотные воды — это все подземные воды, залегающие ниже слоя многолетней мерзлоты. Подмерзлотные воды обладают напором, нередко до нескольких сотен метров. По характеру залегания и условиям циркуляции они аналогичны подземным водам внемерзлотных районов. Условия же питания и стока подмерзлотных вод иные.

По гидрогеологическим условиям среди подмерзлотных вод Н. И. Толстихин выделяет следующие типы: аллювиальные, порово-пластовые, трещинно-пластовые, трещинные, или жильные, и трещинно-карстовые.

*Аллювиальные воды* питаются за счет просачивания атмосферных вод по таликам в аллювий, подтока подземных вод из коренных пород и конденсации. Подмерзлотные воды аллювиальных отложений имеют температуру, близкую к нулю. Лишь в случаях, когда в питании аллювиальных вод принимают участие воды коренных пород с более высокой температурой, подмерзлотные воды аллювия имеют аномально высокую температуру. Химический состав подмерзлотных вод аллювия характеризуется малым содержанием органических веществ. Подмерзлотные воды в аллювиальных отложениях при разработке многих россыпных месторождений полезных ископаемых играют отрицательную роль.

*Порово-пластовые воды* залегают в осадочных породах и обладают напором. Во многих местах выявлены артезианские бассейны подмерзлотных вод.

*Трещинно-пластовые воды* характерны для пород древнего возраста; они циркулируют по трещинам в пластах песчаников, известняков, конгломератов и им подобных пород, перекрываемых водоупорами. В частности, на многих месторождениях каменного угля, распространенных в зоне многолетней мерзлоты, подмерзлотные воды этого типа приурочены к трещиноватым песчаникам, конгломератам, изредка к алевролитам и пластам угля. Породы глинистого состава являются водоупорами, разделяя подземные воды на ряд водоносных горизонтов. Воды обладают напором от десятков до сотен метров.

*Трещинные и трещинно-карстовые воды* связаны с тектоническими нарушениями. Эти воды отмечены во многих местах Забайкалья, в бассейнах Алдана, Лены и в других местах. Режим этих вод еще более непостоянен, чем вне распространения мерзлоты. Известняки на площади распространения многолетней мерзлоты являются одними из наиболее водообильных пород; с ними связаны выходы крупных источников, где образуются мощные наледи. Трещинно-карстовые подмерзлотные воды изучены слабо, как и вообще глубоко залегающие подмерзлотные воды.

В настоящее время в пределах зоны вечной мерзлоты выявлены и более или менее изучены многочисленные артезианские бассейны.



## § 50. Источники в зоне многолетней мерзлоты

Для районов распространения многолетней мерзлоты характерны специфические условия выходов подземных вод на поверхность. Источники области вечной мерзлоты подразделяются на нисходящие и восходящие. Нисходящие источники образуются за счет надмерзлотных вод, расположенных выше местного базиса эрозии. По режиму источники надмерзлотных вод делятся на сезонные и функционирующие в течение всего года. Дебит тех и других источников непостоянен.

Восходящие источники образуются в результате выходов подмерзлотных вод. Геологические условия выходов подмерзлотных вод весьма разнообразны. Режим источников осложняется мерзлотными факторами — оттаиванием и замерзанием путей движения воды, что обуславливает разделение восходящих источников на следующие виды: *периодически исчезающие, мигрирующие, сменные сезонные, непостоянные по дебиту и постоянные*. Режим восходящих источников, зависящий от замерзания и оттаивания путей движения воды, не отражает истинного состояния водоносного горизонта, питающего эти источники. Особо мощные по дебиту восходящие источники образуются в местах выходов на поверхность трещинно-карстовых подмерзлотных вод.

## § 51. Явления, связанные с вечной мерзлотой

На леде — ледяное тело, образовавшееся на поверхности земли или на льду реки в результате замерзания подземной или речной воды, излившейся на поверхность земли или ледяного покрова реки. Различают грунтовые, или наземные, наледи, речные и смешанные.

Грунтовые наледи образуются при замерзании выходящих на поверхность подземных вод. При промерзании деятельного слоя сверху вниз мощность замерзающего грунта, являющегося верхним водоупором, постепенно увеличивается, а еще не замерзшего — уменьшается. Вода, находящаяся в еще не замерзшем деятельном слое, вследствие уменьшения его сечения приобретает напорные свойства и устремляется в места наименьшего сопротивления (в подвалы, котловины, дорожные выемки) либо по трещинам, образующимся в промерзшем грунте, изливается на поверхность. Грунтовые наледи могут образоваться под отсыпанным в летний период слоем грунта, под штабелем угля, шлака, золы и т. п. Прорыв наледей в подвалах домов, банях и других сооружениях выводит их из строя.

Речные наледи развиваются в результате увеличения напора воды в замерзающей реке в местах резкого сужения



живого сечения потока или заполнения русла льдом. Речные наледи деформируют мосты, трубы, водозаборные сооружения, а также значительно осложняют движение транспорта по дорогам, которые зимой обычно прокладывают по льду рек.

Размеры наледей изменяются от нескольких до многих десятков и сотен метров в длину и ширину, при толщине ледяного покрова от долей метра до 6 м и иногда больше. Особенно грандиозные наледи площадью в десятки квадратных километров имеются в Якутии в бассейне р. Догды, где они образуются в результате выхода на поверхность крупных карстовых источников. Здесь наблюдались наледи мощностью до 10 м и длиной до 27 км. По длительности наледи бывают однолетними (сезонными) и многолетними. Наледи причиняют значительные бедствия народному хозяйству, особенно автомобильным и железным дорогам, и на борьбу с ними ежегодно затрачиваются значительные средства.

Гидролакколиты — бугры вспучивания, образующиеся вследствие образования льда в толще промерзших пород (рис. 32), т. е. при образовании *подземных наледей*. Они бывают однолетние (сезонные) и многолетние. Подземные наледи образуют бугры пучения — гидролакколиты округлой и куполовидной формы разной высоты — от долей метра до 50, а иногда до 80 м. Крутизна склонов гидролакколитов нередко достигает 40°. Бывают также пологие вздутия и валообразные поднятия.

Чаще всего гидролакколиты располагаются вдоль подножия склонов и в долинах малых водотоков, образуя при благоприятных условиях цепь бугров пучения разных размеров, обычно высотой 2—3 м.

Наледи и бугры пучения являются надежным поисковым признаком на подземные воды в районах распространения многолетнемерзлых пород.

Термокарст — замкнутые воронко-, котловино- или блюдцеобразные понижения, образующиеся вследствие вытаивания погребенного льда или оттаивания (деградации) многолетнемерзлого грунта с последующим его уплотнением. Термокарст во многих районах занимает до 30% и более площади. Термокарстовые понижения в большинстве своем заполнены водой, образуя озера и болота, площадь которых нередко составляет сотни квадратных метров, а иногда и километров. При образовании новых термокарстовых понижений под влиянием местных изменений термического режима многолетнемерзлых горных пород, которое происходит при застройке и освоении новых территорий, возникает серьезная угроза различным инженерным сооружениям. Поэтому при хозяйственном освоении новых территорий необходимо проводить специальные исследования в целях выявления потенциальной возможности развития термокарстовых процессов.



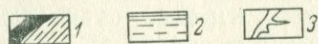
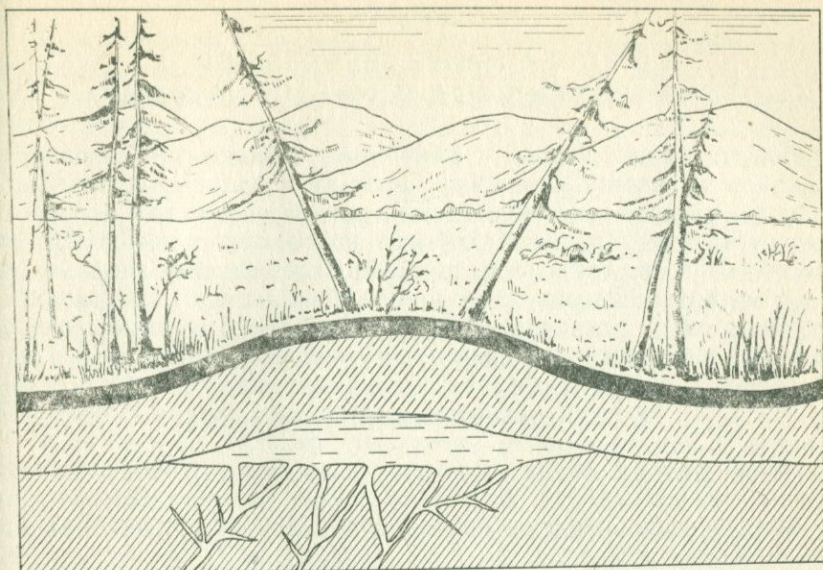


Рис. 32. Гидролакколит (по М. Я. Чернышеву).

1 — породы деятельного слоя; 2 — лед; 3 — водоносные трещины

Солифлюкция — течение переувлажненного оттаявшего грунта деятельного слоя под влиянием силы тяжести. Солифлюкционные явления широко распространены на Крайнем Севере. Они проявляются на склонах при небольших углах (несколько градусов). Известны случаи перехода солифлюкционного сплывания в оползни катастрофического характера. С явлениями солифлюкции связано образование особых форм рельефа — солифлюкционных террас на склонах, внешне напоминающих речные, земляных рек, шлейфов, а также преобразование рельефа вообще (образование мягкоочерченных солифлюкционных склонов, сглаживание гряд, холмов и других неровностей рельефа). Явления солифлюкции причиняют значительный ущерб различным сооружениям, главным образом дорогам, протрассированным вдоль склонов или на склонах. Поэтому при проектировании дорог возможность проявления солифлюкционных процессов на отдельных участках трассы дороги необходимо учитывать и заблаговременно проводить соответствующие профилактические мероприятия.



## МИНЕРАЛЬНЫЕ (ЛЕЧЕБНЫЕ), ПРОМЫШЛЕННЫЕ И ТЕРМАЛЬНЫЕ ВОДЫ

Пресные воды находят наиболее широкое применение в народном хозяйстве. Основная масса их используется промышленными предприятиями, сельским хозяйством и для бытового водоснабжения городов и других населенных пунктов. Кроме пресных вод, в природе существуют специфичные подземные воды, которые используются в лечебных целях (минеральные лечебные воды), для извлечения промышленно ценных веществ (промышленные воды) и как энергетические источники.

### § 52. Лечебные минеральные воды

Минеральные лечебные воды отличаются от прочих подземных вод физиологическим воздействием на организм человека, которое обусловлено наличием в них растворенных солей и газов.

В районах распространения лечебных минеральных вод организованы курорты, нередко очень крупные (Кисловодск, Ессентуки, Цхалтубо, Дарасун и др.). Широкое распространение лечебных минеральных вод в СССР открывает неограниченные возможности для строительства санаториев в различных областях страны.

Физические свойства и химический состав лечебных минеральных вод и вообще минеральных вод подчиняются общим закономерностям, присущим в целом подземным водам (см. главу V).

Тип минеральных лечебных вод определяется преобладанием в их составе определенных компонентов или их комбинаций, оказывающих наибольший лечебный эффект. Соответственно этому различают следующие главнейшие типы минеральных вод: углекислые, сероводородные и радиоактивные; имеются и другие классификации этих вод, в которых выделяются, например, иодистые, бромистые, железистые и т. п. Общепринятой классификации лечебных вод не существует.

### § 53. Промышленные воды

Промышленные воды содержат те или другие микрокомпоненты в количествах, дающих возможность извлечения их для промышленных целей. В образовании минеральных вод, обогащенных микроэлементами, важнейшее значение имеют процессы метаморфизма морской седиментационной воды и процессы, протекающие в коре выветривания. В настоящее время разработаны требования к промышленным водам, содержащим те или иные компоненты.

Концентрации компонентов корректируются рядом дополнительных факторов (глубиной скважин, их дебитом, глубиной динамического уровня и др.), и вопрос о целесообразности эксплуатации данного месторождения промышленных вод решается по совокупности технико-экономических показателей.

Промышленными являются воды, содержащие поваренную соль, соду и другие компоненты. Извлечение поваренной соли из рассолов подземных вод проводилось в России еще в древние века в районах распространения пермских отложений (Кировская, Пермская области и др.); названия многих населенных пунктов (Соль-Вычегодск, Соликамск и др.) свидетельствуют о былом процветании соляного промысла в этих местах. Сода в промышленных количествах обычно содержится в нефтяных водах, откуда и извлекается.

В некоторых случаях подземные воды содержат в растворенном виде и другие вещества (бор, литий, никель, мышьяк, медь и др.).

Наиболее изученными являются промышленные иодные и бромные воды. Характерная особенность иодо-бромных вод состоит в том, что они являются рассолами высокой концентрации.

## § 54. Термальные воды

Термальными называются подземные воды, имеющие повышенную температуру (37—42°С); воды с температурой 42—100°С называются гипотермальными, а свыше 100°С — перегретыми. В связи с повышенной химической и биологической активностью термальные воды в большинстве своем являются минерализованными, часто содержат повышенные концентрации ценных компонентов, имеющих промышленное или лечебное значение. Поэтому во многих случаях целесообразно использовать термальные воды одновременно для целей теплофикации, энергетики, лечебных и извлечения химических элементов.

Термальные подземные воды существуют на больших глубинах всюду при наличии водоносных пород. Месторождения термальных вод приурочены к артезианским и трещинным водонапорным системам. Довольно полное описание термальных вод СССР можно найти в работе [30].

Месторождения термальных вод занимают, по последним данным, 50—60% территории нашей страны. Они обнаружены в европейской части СССР, Западной и Восточной Сибири, Средней Азии, Казахстане, на Дальнем Востоке и в других районах. Термальные подземные воды заключают громадную энергию, причем самую дешевую, и их использование в народном хозяйстве экономически чрезвычайно выгодно. Для электрификации используются очень горячие и перегреты



воды — парогидротермы, выведенные на поверхность с помощью буровых скважин. Широко используются термальные воды для теплофикации (обогрева парников, теплиц, отопления зданий, производственных процессов, горячего водоснабжения). В Алма-Атинской и Чимкентской областях из 50 геотермальных скважин льется горячая вода температурой до 90°С и сбрасывается в реки (данные 1976 г.). В Западной Грузии в одном из селений уже много лет льется кипяток в количестве 100 л/с, которым можно обогревать теплицы площадью 10 га. Запасы тепловой энергии термальных вод на глубине 5 км и выше в сотни и тысячи раз превышают потенциальную энергию угля, нефти, газа и других топливных ресурсов, вместе взятых (данные Научного совета АН СССР по геотермическим исследованиям).

В СССР термальные подземные воды частично используются в Тбилиси, Махачкале, Баку, Грозном, Майкопе, Ташкенте и ряде других городов. Практика показала, что затраты на содержание тепличных хозяйств для выращивания овощей окупаются в первые 3—4 года.

## Глава XI

### УСЛОВИЯ ОБВОДНЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

#### § 55. Понятие о шахтных водах, задачи рудничной гидрогеологии

При разработке месторождений полезных ископаемых подземные воды, приуроченные к вмещающим полезное ископаемое породам, поступают в горные выработки.

Шахтные, или рудничные, воды — подземные воды, поступающие в горные выработки из горных пород и осложняющие вскрытие и эксплуатацию полезного ископаемого. Тем самым подземные воды являются фактором, который непременно учитывается при оценке месторождений полезных ископаемых, при проектировании горного предприятия и ведении подготовительных и очистных работ. При оценке месторождений подземные воды имеют значение не только как фактор, обуславливающий притоки в горные выработки, но и как фактор, отрицательно влияющий на общие условия труда шахтеров (простуды, травмы), что снижает производительность и вызывает необходимость введения сокращенного рабочего дня и затрат на охрану труда.

В связи с мощным развитием в СССР горнодобывающей промышленности и разработкой многих месторождений, гидро-

геологические условия которых весьма сложные, возникла необходимость в специальном изучении гидрогеологических особенностей обводненных месторождений в целях выработки наиболее рациональных мероприятий по борьбе с подземными водами при разработке полезных ископаемых. Раздел гидрогеологии, изучающий рудничные, или шахтные, воды, получил название *рудничной, или шахтной, гидрогеологии*.

Задачами шахтной гидрогеологии являются: изучение гидрогеологических условий разведываемых и разрабатываемых месторождений; гидрогеологическое обоснование строительства карьеров, проходки стволов шахт и прочих горных выработок (рудничных дворов, штреков, нарезных и очистных выработок); изучение режима водопритоков в шахты и режима подземных вод на шахтном поле; изучение действия и эффективности водопонижающих установок и прочих дренажных мероприятий и внесение нужных изменений в их работу; изучение химического состава шахтных вод и разработка мер по борьбе с их агрессивностью; разработка теоретических основ определения притоков в шахты в разных условиях; разработка наиболее рациональных способов борьбы с шахтными водами; решение вопросов подработки горными выработками поверхностных водотоков и водоемов.

Дальнейшее уточнение и совершенствование методов рудничной гидрогеологии позволит в большей степени применять способы активной борьбы с шахтными водами, что в условиях активного внедрения средств механизации и автоматизации в горной промышленности является одним из основных условий успешной работы современного горного предприятия. Борьба с водой на шахтах и рудниках предохраняет их от затопления, прорывов плывунов и т. п., создает благоприятные условия труда, предохраняет дорогостоящие механизмы от агрессивного воздействия рудничных вод, обеспечивает максимальную выемку полезного ископаемого.

## § 56. Условия обводненности месторождений

Обводненность месторождений полезных ископаемых обуславливается рядом естественных и искусственных факторов. К основным природным факторам обводнения относятся: атмосферные осадки, рельеф местности, просачивание воды из поверхностных водотоков и водоемов, обнаженность коренных пород и состав покровных отложений, литологический состав вмещающих пород, тектоника района, глубина горных выработок, формы погребенного рельефа.

К искусственно созданным факторам можно отнести: влияние старых затопленных выработок, влияние незатампонированных разведочных скважин, принятую систему ведения горных работ.



Атмосферные осадки. Количество воды, поступающей в горные выработки при небольшой глубине залегания полезного ископаемого, находится в прямой зависимости от количества выпадающих атмосферных осадков. Осадки, особенно в период снеготаяния, проникают в горные выработки, расположенные на глубине 100—200 м от поверхности, обычно через несколько дней. В карьеры и внутренние отвалы осадки поступают сразу после их выпадения непосредственно на участке карьера в виде поверхностного стока.

Влияние атмосферных осадков на обводненность месторождения подтверждается увеличением притоков в выработки в период выпадения осадков и весеннего снеготаяния на 30—40%, а иногда на 200—300% и больше по сравнению со среднегодовым притоком. Например, на одной из шахт в Эстонии, где разрабатываются горючие сланцы, приток летом и зимой обычно не превышает 435 м<sup>3</sup>/ч, а весной при снеготаянии увеличивается до 4620 м<sup>3</sup>/ч, т. е. больше чем в 10 раз.

Рельеф местности. Колебание притоков воды в горные выработки и степень водообильности зависят от высотного положения шахтного поля и изрезанности его овражно-балочной системой. Представление об этом влиянии дает Д. И. Щеголев. Он делит шахтные поля в Донбассе по характеру рельефа на три группы:

*I группа.* Шахтные поля приурочены к водораздельным пространствам со слабо расчлененным рельефом, где небольшие балки и овраги мало или совершенно не вскрывают коренные породы. Обнаженность коренных пород ничтожная. Коэффициент водообильности\* составляет в среднем 1,8—2,8.

*II группа.* Шахтные поля приурочены к склонам водоразделов, где широко развиты овражно-балочная система и значительна обнаженность коренных пород. Водосборная площадь таких участков больше, чем участков на водоразделах. Коэффициент водообильности составляет в среднем 2,3—3,0.

*III группа.* Шахтные поля расположены в долине рек. Наблюдается непосредственная инфильтрация воды из открытых водотоков в горные выработки. Имеются значительные статические запасы подземных вод в породах вскрыши. Приток в горные выработки по сезонам года резко меняется и больше среднего по Донбассу.

То же справедливо для Кузнецкого бассейна, угольных разрезов и бокситовых рудников на Урале и т. п.

Наиболее обводненными являются горные выработки, расположенные под речными долинами. Например, коэффициент водообильности шахты «Сутагаң», поле которой расположено в долине реки, равен 30, для других шахт Донбасса 2—3.

\* Коэффициентом водообильности называется отношение количества откачиваемой воды к количеству добываемого полезного ископаемого за тот же период времени (обычно за год).



Просачивание воды из поверхностных водотоков и водоемов. Источником обводненности горных выработок нередко являются открытые водотоки и водоемы, расположенные вблизи или непосредственно на месторождении. В этом случае происходит фильтрация воды из открытых водотоков непосредственно или через аллювиальные отложения. Значительное увеличение просачивания воды наблюдается в периоды прохождения в реке высоких весенних паводков.

Обнаженность коренных пород и состав покровных отложений. Если на месторождении отсутствуют мощные водоносные горизонты, то величина притока в горные выработки зависит от степени обнаженности коренных водопроницающих пород и мощности покровных суглинисто-глинистых отложений, изолирующих продуктивную толщу от поверхностных вод. При выдержанной мощности покровных отложений более 5 м инфильтрация через них поверхностных вод почти отсутствует. Питание подземных вод обычно происходит в местах выхода на поверхность водопоглощающих коренных пород по склонам речек и балок. Район, где выходы коренных водопоглощающих пород составляют более 1% от общей площади месторождения, считается обнаженным. Обводненность месторождения прямо пропорциональна обнаженности пород при одинаковой трещиноватости их и прочих равных условиях.

Литологический состав вмещающих пород. Литологический состав пород месторождения предопределяет его обводненность. Меньшей обводненностью характеризуются месторождения, сложенные пластами осадочных сцементированных пород (песчаниками, сланцами, аргиллитами, алевролитами, прослоями известняка и угля). Вода в них движется по системе трещин. Наиболее интенсивный, быстро иссякающий приток воды в горные выработки поступает из прослоев известняка. Из песчаников и аргиллитов поступает обычно небольшой приток. Глинистые сланцы, алевролиты и угли, будучи более пластичными породами, являются водоупорными горизонтами, изолирующими смежные водоносные пласты.

Значительной обводненностью характеризуются месторождения, в геологическом разрезе которых преобладают закарстованные известняки (Кизеловский угольный бассейн, эстонские сланцы, бокситы на Урале и др.) и другие легкорастворимые карстующиеся породы. Из них в горные выработки поступает сразу большое количество воды, причем приток часто приводит к временному затоплению части выработок, если до вскрытия этих пород не провести осушительных мероприятий.

Наиболее тяжелые гидрогеологические условия наблюдаются на месторождениях, сложенных рыхлыми обломочными породами, где пласт полезного ископаемого залегает между рыхлыми водопроницаемыми породами. Таковы гидрогеологические условия месторождений бурого угля Подмосковского



бассейна, Никопольских марганцевых месторождений, огнеупорных глин в районе Пятихатки в УССР и многих других.

Тектоника района. Зоны тектонических нарушений в сцементированных породах являются местами сосредоточенного, иногда катастрофического поступления воды в горные выработки. На одной из шахт в Донбассе в 1948 г. в один из штреков, где была вскрыта сбросовая трещина в почве, стала поступать вода в количестве до 300 м<sup>3</sup>/ч, вследствие чего шахта была затоплена. На этой же шахте, но уже в 1952 г. при вскрытии сбросовой трещины в другом месте приток достигал 1100 м<sup>3</sup>/ч, что для условий Донбасса является уникальным явлением.

Катастрофический приток в Богословский карьер № 3 в 1945 г. в количестве 3500 м<sup>3</sup>/ч произошел по трещинам одного из сбросов, соединяющим подземные воды в девонских известняках с водами угленосной толщи мезозоя.

Глубина горных выработок. В зависимости от геолого-гидрогеологических условий и интервала глубины приток воды и коэффициент водообильности с глубиной горных выработок могут и уменьшаться и увеличиваться.

В Донбассе максимальные притоки в шахты наблюдаются на глубине 150—350 м от поверхности. Некоторое уменьшение притока, но не везде, наблюдается с глубины 150—200 и 300—500 м. На глубине свыше 500 м отмечается заметное уменьшение притока. Уменьшение водопритока (коэффициента водообильности) с глубиной объясняется уменьшением степени трещиноватости скальных пород с глубиной и заполнением трещин глинистым материалом.

Но имеются и отклонения от этого общего правила. Например, на Риддерском месторождении сульфидных руд, где вода в выработки поступает из р. Филипповки через аллювиальные отложения и трещинную зону кровли рудной залежи, трещиноватость которой возрастает вследствие процессов сдвижения, приток в интервале глубин 45—112 м и ниже неуклонно растет пропорционально глубине рудника.

Формы погребенного рельефа. Водообильность ряда месторождений обусловлена погребенными формами рельефа. Древние размывы, выполненные в более позднее время хорошо фильтрующими отложениями, служат мощными коллекторами подземных вод. В подобных местах нередко осуществляется гидравлическая связь не только нескольких водоносных горизонтов, но также с поверхностными водотоками и водоемами. Древние эрозионные долины обнаружены на бурогольных месторождениях западного крыла Мосбасса, на Коробковском месторождении железных руд (КМА), на железорудных месторождениях Урала, в Донбассе и других местах.

Влияние старых затопленных выработок. Большие объемы подземных вод накапливаются в старых за-

брошенных выработках. Прорыв этих вод в действующие горные выработки является одной из наиболее распространенных причин частичного или полного затопления рудников. Такие прорывы носят часто катастрофический характер и сопровождаются выносом значительных масс обломочного материала, разрушением крепления выработок и рудничного оборудования.

Влияние незатампонированных разведочных скважин. По окончании бурения каждая разведочная скважина обычно ликвидируется, при этом из нее извлекают обсадные трубы и она тампонируется жирной глиной или цементом, чтобы вода из водоносных горизонтов, залегающих среди пород кровли и почвы полезного ископаемого, не смогла прорваться в горные выработки при их проведении. При плохом тампонаже скважин в случае подработки последних горными выработками из них очень часто прорывается вода, в ряде случаев со значительным притоком. Прорывы наблюдались неоднократно.

Принятая система ведения горных работ. Поступление воды в выработки может зависеть от принятой системы горных работ и неудачного отвода откачиваемых шахтных вод. При работах с обрушением кровли сдвигание пород достигает дневной поверхности и на ней появляются воронки, зияющие трещины и т. п. В этих случаях необходимо проводить планировочные работы, ограждающие поверхность шахтного поля от скопления атмосферных осадков и сбрасываемых шахтных вод. На некоторых шахтах проводят посадку кровли в лавах в неблагоприятных гидрогеологических условиях: при близком залегании в кровле открытых водотоков или мощной толщи водоносных аллювиальных и флювиогляциальных песков. При расположении горных выработок в пределах долин рек можно допустить обрушение над выработками только при наличии в кровле мощной толщи пластичных пород, в которых в зоне обрушения не создается открытых трещин.

### § 57. Гидрогеологическая классификация месторождений твердых полезных ископаемых

Общий приток воды в систему горных выработок обуславливается сочетанием природных (разобранных выше) и горно-технических факторов. Существует ряд классификаций месторождений по условиям обводненности.

В. Д. Бабушкин и С. П. Прохоров [1] по условиям залегания пород все месторождения разбивают на три класса. К первому классу относятся месторождения с горизонтальным залеганием пород, ко второму — с наклоном, в основном с моноклинальным залеганием, к третьему — с мульдобразным.



В границах выделенных классов по числу водоносных горизонтов и характеру их взаимосвязи в разрезе месторождения подразделяются на типы, а типы на подтипы в зависимости от граничных условий для горизонтальных водоносных горизонтов в плане, а для наклонных — в плане и разрезе.

Детально гидрогеологическая классификация В. Д. Бабушкина и С. П. Прохорова описывается в методическом руководстве [1]. Предлагаемая ими гидрогеологическая классификация твердых полезных ископаемых складывается из серии сгруппированных определенным образом расчетных схем, для большинства из которых авторами даются методы расчета определения водопритоков в горные выработки.

Имеются и другие гидрогеологические классификации месторождений, описываемые в соответствующих руководствах [7, 10, 19]; в них дается также краткая характеристика гидрогеологических особенностей месторождений различных типов.

### § 58. Определение притоков воды в горные выработки

Прогнозирование притоков воды в горные выработки является одной из важнейших задач шахтной гидрогеологии. Говоря по существу, гидрогеологические исследования, проводимые в процессе разведки месторождений полезных ископаемых, а затем гидрогеологические наблюдения, проводимые в процессе эксплуатации, преследуют одну и ту же основную задачу — как можно точнее определить приток и характер поступления подземных вод в выработки и режим водопритоков, в соответствии с чем намечаются и затем уточняются необходимые мероприятия по борьбе с подземными водами.

Прогноз притока воды в горные выработки представляет сложную задачу из-за меняющихся геологических условий месторождения и изменения самих горных выработок при разработке месторождения. Вследствие названных причин происходит постоянное изменение гидродинамических условий около горных выработок.

Движение подземных вод имеет пространственный характер, является неустановившимся, расчетные параметры — коэффициент фильтрации, мощность водоносных горизонтов, напоры, радиусы влияния — по мере развития сети горных выработок постоянно меняются, условия инфильтрации тоже, климатические особенности района разработок в разные годы различны, интенсивность развития горных выработок на глубину и по площади во времени неравномерная. Подробно методы определения притоков воды в горные выработки рассматриваются в специальных руководствах [1, 7, 23 и др.].

Притоки подземных вод обычно приходится определять отдельно для шахтных стволов, в подготовительные, нарезные и очистные выработки; последние представляют систему горизон-



тальных, вертикальных и наклонных выработок, расположенных на значительной площади, т. е. огромную по размерам единую дренажную систему.

Общее количество воды, которое может поступать в шурфы и ствол шахты при их проходке, определяется по формулам, приведенным в главе III, поскольку шурфы и ствол шахты представляют собой вертикальный водозабор. В данном же разделе рассматриваются методы, позволяющие приблизительно определить притоки подземных вод в систему горных выработок. В настоящее время пользуются следующими способами: по гидрогеологическим аналогиям; по водному балансу; моделированием; аналитическими методами.

Определение притоков методом гидрогеологических аналогий широко применяется. Он основан на сопоставлении гидрогеологических условий и переносе фактически наблюдаемых водопритоков в действующие шахты на проектируемые, находящиеся в аналогичных гидрогеологических условиях, используя эмпирические зависимости, выведенные для данного горно-гидрогеологического района или месторождения. Для месторождений, издавна разрабатываемых (Урала, Алтай, Караганды, Донбасса и т. п.), этот способ дает удовлетворительные результаты.

Определение притока по водному балансу. Понятие о водном балансе вообще дано в § 23. При разработке месторождений в горные выработки притекают статические и динамические запасы подземных вод. После сработки статических запасов в горные выработки начинают поступать только динамические запасы. Поэтому при определении водопритоков по водному балансу основной задачей является установление динамических ресурсов, т. е. того количества воды, которое будет поступать в выработки за счет постоянных источников питания: инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод, притока из других водоносных горизонтов и пр. Приблизительно динамические притоки можно определить умножением коэффициента фильтрации водоносного пласта на гидравлический градиент и площадь поперечного сечения водоносного горизонта, обводняющего горные выработки в процессе эксплуатации.

Более точно динамические притоки можно определить по коэффициенту или модулю подземного стока. Зная величину модуля подземного стока (приблизительно его принимают равным 10—30% от модуля общего стока) и водосборную площадь, с которой в выработки возможно поступление подземной воды, можно ориентировочно определить приток воды в горные выработки.

Динамические притоки по величине коэффициента подземного стока определяются умножением этого коэффициента на количество атмосферных осадков и водосборную площадь,



с которой возможно поступление подземных вод в горные выработки.

Определение притоков воды по водному балансу возможно только для месторождений, залегающих неглубоко от поверхности, для которых не представляет трудности определение коэффициента или модуля подземного стока и водосборной площади, откуда ожидается пополнение подземных вод, поступающих в горные выработки.

Метод моделирования применяется при сложных контурах горных выработок и является относительно точным при условии, если гидрогеологические параметры установлены более или менее достоверно. Метод основан на аналогии между установившейся фильтрацией жидкости и течением электрического тока. Наличие электрогидродинамической аналогии позволяет решать ряд задач по определению притоков в условиях установившегося и неустановившегося движения при любых контурах водоносности и областей питания и при любом расположении горных выработок в плане и пространстве. Для этой цели используются аналоговые сеточные машины и приборы ЭТДА, воспроизводящие натурные условия. Наиболее полно этот метод изложен в работах Н. И. Дружинина, П. Ф. Фильчакова, В. Д. Бабушкина и др.

Определение притоков аналитическими методами. При определении водопритоков в горные выработки должны учитываться следующие факторы: конфигурация выработок; продвижение выработок во времени; влияние выработок на взаимосвязь смежных водоносных горизонтов, а последних с поверхностными водами; изменение режима подземных вод (а возможно, и поверхностных) под влиянием работы водоотлива из шахты (или группы шахт); неустановившееся движение подземных вод; различия в водопроницаемости пород в вертикальном и горизонтальном направлениях. Влияние указанных факторов на водопритоки исключительно сложно, чем в основном и объясняется большая трудность определения притоков аналитическими методами, хотя они и широко применяются. Подробно аналитические методы, весьма разнообразные, рассматриваются в многочисленной специальной литературе II, 6, 10, 23 и др.

### § 59. Методы борьбы с рудничными водами при разработке месторождений

Нормальное ведение вскрышных и очистных работ невозможно без планового осуществления дренажных мероприятий. Заботы партии и правительства об улучшении условий труда рабочих горной промышленности, все возрастающая механизация и автоматизация горных предприятий, перевод в недалеком будущем работы горных механизмов на полностью





автоматизированное обслуживание требуют дальнейшего совершенствования методов осушения разрабатываемых месторождений полезных ископаемых, даже находящихся в сравнительно простых гидрогеологических условиях.

Многообразие геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий (последнее имеет особенно существенное значение при ведении горных работ открытым способом) обуславливает и разнообразие способов осушения при разработке различных месторождений. Осушение может быть *предварительное* и *параллельное*; последнее совмещается с горными работами и осуществляется при сравнительно простых гидрогеологических условиях. Предварительное осушение выполняется при сложных гидрогеологических условиях — наличии в кровле и почве водоносных горизонтов значительной мощности, сложенных преимущественно песчаными разностями, нередко слабопроницаемыми, и осуществляется тремя способами: поверхностным, подземным и комбинированным.

*Поверхностный способ* сводится к бурению водопонижающих (на подрудный или подугольный водоносный горизонт) и водопоглощающих (на надрудный водоносный горизонт) скважин; последние служат для сбрасывания воды из обводненной надрудной или надугольной толщи в подрудный водоносный горизонт, из которого откачка проводится из водопонижающих скважин.

*Подземный способ* осушения осуществляется путем проходки по полезному ископаемому специальных дренажных выработок (штреков, уклонов и т. п.), в кровлю и почву которых устанавливаются забивные (рис. 33) или сквозные фильтры (рис. 34), аэрирующие скважины и трубчатые колодцы, а чаще их комбинации.

*Комбинированный способ* сочетает в себе поверхностный и подземный способы осушения: часть воды из дренируемых водоносных горизонтов откачивается с помощью скважин, а часть поступает в подземные выработки через забивные фильтры и другие дренажные устройства и затем откачивается на поверхность.

Современная техника бурения скважин большого диаметра и возможность устройства в них длительно действующих совершенных фильтров с малым сопротивлением входу воды в скважины из водоносных горизонтов позволяют осуществлять осушение большинства месторождений со сложными гидрогеологическими условиями поверхностным способом, обладающим целым рядом неоспоримых преимуществ по сравнению с подземным.

Подробно методы осушения месторождений при их разработке излагаются в многочисленной литературе.

В заключение следует указать, что лучшим способом осушения данного месторождения будет тот, который в наиболь-



шей степени будет учитывать своеобразие природных особенностей проектируемого к разработке месторождения.

## § 60. Использование рудничных вод

Рудничные и шахтные воды обычно используются после умягчения для хозяйственно-технических целей, в отдельных случаях возможно использование их и для питьевого водоснабжения. В этом случае непосредственно в шахте устраивают специальный водозабор в местах выхода подземных вод из водоносного пласта, принимая необходимые меры, предохраняющие воду от загрязнения.

На угольных и других месторождениях (Мосбасс, эстонские сланцы, отдельные шахты в Кизиле и Кузбассе и др.) находящиеся в благоприятных климатических условиях (в зоне активного водообмена) рудничные воды являются слабominерализованными и для технических целей могут быть использованы без всякой обработки.

На некоторых месторождениях рудничные воды содержат растворенные соли и тяжелые металлы в таких количествах, что их экономически выгодно извлекать из рудничных вод. На одном из рудников с величиной водопритока около 100 м<sup>3</sup>/ч при среднем содержании меди в откачиваемой воде 0,1 г/л в месяц извлекается 7,2 т меди. На некоторых шахтах Донбасса и в других местах рудничные воды используются для лечения накожных заболеваний, нарушений обмена веществ, нервных болезней и др.

Знание химического состава рудничных вод имеет важное значение как поисковый признак на наличие других полезных ископаемых, генетически связанных с разрабатываемыми, но содержащихся в незначительных количествах. Современная техника обогащения (селективная, с использованием ионитов и др.) позволяет рентабельно разрабатывать и месторождения с низким содержанием мало распространенных, но ценных компонентов. Поэтому знание химического состава рудничных вод имеет большое практическое значение, так как гидрогеологический метод является одним из наиболее достоверных методов поисков месторождений полезных ископаемых, дающий возможность обнаруживать месторождения цинка, молибдена, урана, ванадия, олова, хрома, кобальта и других металлов.

По результатам изучения химического состава рудничных вод составляются прогнозные гидрогеологические карты различного масштаба; методика их составления указана в руководствах [8 и др.].



## ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

### 61. Классификация физико-геологических и инженерно-геологических процессов и явлений

Одной из основных задач инженерной геологии является изучение и оценка геологических факторов, влияющих на инженерную деятельность человека. Значение геологических факторов прежде всего заключается в том, что они определяют характер процессов, оказывающих влияние на строительство инженерных сооружений и могущих нарушить сохранность и нормальную эксплуатацию этих сооружений. Среди подобных процессов различают физико-геологические и инженерно-геологические процессы. Под *физико-геологическими* процессами понимаются природные процессы, которые изменяют рельеф земной поверхности, вещественный состав горных пород и их физико-механические свойства. Видимое проявление этих процессов называют физико-геологическими явлениями. В инженерной геологии наиболее важное значение имеют явления, связанные с такими физико-геологическими процессами, как деятельность поверхностных и подземных вод, силы гравитации, промерзание и оттаивание грунтов, карстообразование, землетрясения.

В общей геологии физико-геологические явления изучаются с качественной стороны. В инженерной же геологии эти явления изучаются с количественной стороны, им дается не общая качественная характеристика, а количественная, с точки зрения их значимости для данного конкретного строительного объекта, возводимого в определенных природных геологических условиях.

С учетом степени опасности имеющих в районе предполагаемого строительства физико-геологических явлений осуществляются различные профилактические инженерные мероприятия, предотвращающие опасное воздействие этих явлений на возведенные сооружения и обеспечивающие их сохранность. Эффективность же профилактических инженерных мероприятий и их рентабельность всецело зависят от степени изученности данного геологического явления, точности его количественной характеристики и объективной оценки степени потенциальной опасности для проектируемых сооружений.

Инженерно-геологическое изучение физико-геологических явлений проводится методами, принятыми в динамической геологии, а также специально разрабатываемыми в инженерной геологии; наибольшее значение при этом придается полевым

опытно-исследовательским работам, стационарному изучению физико-геологических процессов и различным расчетам, дающим цифровые показатели изучаемым процессам, которые затем кладутся в основу проектирования различных защитных сооружений.

Совокупность процессов, являющихся результатом взаимодействия сооружений и природной геологической обстановки, называются *инженерно-геологическими* процессами.

С этими процессами связаны инженерно-геологические явления (просадки фундаментов, обрушения горных выработок, переработка берегов водохранилищ и другие явления).

## § 62. Явления, связанные с деятельностью поверхностных вод

Поверхностные воды (морей, озер, рек, временных потоков) производят на поверхности суши огромную разрушительную работу, обуславливая размыв и обрушение пород на склонах, смыв продуктов выветривания с поверхности суши, переработку и транспортировку продуктов выветривания. Все эти процессы необходимо изучать, так как подмыв и обрушение берегов могут привести к разрушению расположенных на берегу сооружений, зданий, дорог, дамб, причальных стенок и т. п.

В соответствии с природной обстановкой, факторами и формами проявления деятельность поверхностных вод подразделяется на морскую и озерную абразию, речную эрозию, сели (силы) и эрозию почв. Для инженерно-геологических целей эрозия почв не изучается, так как никакого влияния на сооружения она не оказывает.

Морская и озерная абразия. Основными факторами, воздействующими на берега морей и озер, являются динамическое воздействие волн, морские течения, растворяющее действие воды, плавающие льдины, увлажнение пород и др. Сила воздействия волн на берега может достигать 0,3 МПа; в Поти морскими волнами были сдвинуты бетонные блоки мола массой до 20 т, а в Новороссийске — до 40 т. Морской прибой в сильные бури в состоянии перемещать глыбы массой 100 т и более. Во время бури на Северном море в Шотландии была передвинута на 4 м дамба массой 800 т. Интенсивность разрушения берега морскими волнами зависит от многих факторов: конфигурации и крутизны берегов, их геологического строения, характера волн (их высоты и длины) и скорости движения, наличия (или отсутствия) пляжа, характера эпейрогенеза, наличия искусственных сооружений и т. п.

О характере скорости разрушения берегов под действием морских волн в сочетании с другими факторами свидетельствуют следующие данные. В районе Одессы ежегодно размыв



вается в среднем 0,93 м берега, в районе Ламанша — полоса берега 2 м шириной, в пределах графства Суссекс (Англия) средняя ежегодная скорость разрушения берега за последние 110 лет составила 4—5 м.

В настоящее время разработаны достаточно эффективные меры, полностью или частично предотвращающие морскую и озерную абразию. В основном эти мероприятия сводятся к защите берегов от действия морских волн, стабилизации земляных масс аккумуляцией наносов — *пляжеобразованию*.

Речная эрозия. Геологическая деятельность рек проявляется в разрушении горных пород водным потоком, что приводит к углублению и расширению русла (эрозии), в переносе продуктов разрушения (*транспортирующая* деятельность рек) и отложении продуктов разрушения (*аккумулирующая* деятельность рек). Изучение закономерностей формирования речных долин и влияния различных процессов, проявляющихся в долинах рек, на инженерную деятельность человека, в частности на условия возведения и устойчивость различных сооружений, имеет существенное практическое значение.

Из физико-геологических процессов по долинам рек чаще встречаются подмыв берегов и оползни. Подмывающая деятельность рек наиболее интенсивно проявляется в период паводков и приводит к обрушению берегов и разрушению находящихся поблизости сооружений (рис. 35). Наиболее легко и интенсивно подмываются и разрушаются высокие берега, сложенные рыхлыми породами: супесями, суглинками и т. п. Для защиты отдельных участков долины реки от подмыва и разрушения применяются различные инженерные мероприятия, регулирующие размывающую деятельность рек. В принципе они аналогичны защитным гидротехническим продольным сооружениям, возводимым по берегам морей. Широко применяются также водозащитные дамбы и струеотклоняющие сооружения.

Оврагообразование — процесс размыва и переноса продуктов размыва временными водотоками, в результате чего на поверхности земли образуются углубления различной формы. Овраги оказывают вредное влияние на различные сооружения и особенно на сельскохозяйственные угодья, значительно усиливая эрозию почв. Основными факторами, обуславливающими оврагообразование, являются крутизна и форма склонов, состав пород, слагающих склон, климатические условия, деятельность человека — распашка склонов, устройство канав, уничтожение растительности на склонах и вблизи них и т. п.

Мерами борьбы с оврагообразованием являются различные мероприятия агротехнического, лесомелиоративного и гидротехнического характера, осуществление которых должно проводиться комплексно и дифференцированно по зонам.

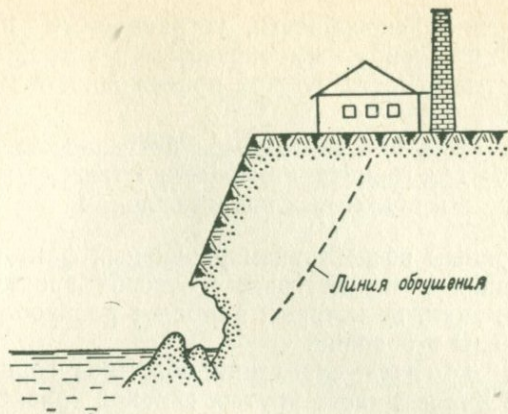


Рис. 35. Обрушение откоса в результате подмыва берега рекой

Сели (силы) — бурные временные грязекаменные, грязецебенистые или грязевые потоки, возникающие в горных районах во время ливня или при интенсивном таянии снега. Условиями, способствующими образованию селей, являются: горный рельеф, обуславливающий большую скорость движения потока; континентальный засушливый климат; наличие в селевом бассейне горных пород, легко поддающихся выветриванию; сильные ливни или интенсивное таяние снега. Как правило, сели по отдельным долинам проходят не ежегодно, а через 2—4 года, а катастрофические — один раз в 10—15 лет.

Грязекаменный поток, несущийся с большой скоростью, нередко достигающей 10—15 м/с, по пути своего движения производит большие разрушения: сносятся здания, мосты, разрушается и заваливается земляное полотно дорог, заносятся отверстия искусственных сооружений, приводятся в негодность пашни, сады, гибнут животные и нередко люди. Во время крупного селя в июле 1921 г. в г. Алма-Ате улицы были запружены огромной массой обломочного материала, масса которого, по приблизительным подсчетам, составила около 11 млн. т.

В СССР сели проявляются преимущественно на Кавказе и в Средней Азии, реже и в меньших масштабах — на Урале, в Карпатах, Крыму, Прибалтике и других местах.

В зависимости от природных особенностей мест, где проявляются сели, профилактические мероприятия бывают самыми разнообразными. Главнейшими из них являются: лесонасаждение и травосеяние на площади селеоборного бассейна, устройство регуляционных сооружений на пути движения селя — дамб, траверс, полузапруд, селеуловителей и т. п. Для защиты железных и автомобильных дорог часто устраиваются так называемые селепуски — каменные или железобетонные лотки



нужной пропускной способности, устраиваемые над дорогой; иногда более целесообразным оказывается устройство тоннеля или однопролетного моста нужной протяженности.

### § 63. Явления, связанные с деятельностью сил гравитации, поверхностных и подземных вод на склонах

Под совокупным воздействием различных факторов на естественных склонах и искусственных откосах проявляются различные деформации, из которых наиболее распространены осыпи, осы, обвалы и оползни.

Осыпи и осы — скопления обломков горных пород у основания и в нижней части крутых склонов (рис. 36). Образуются осыпи в результате выветривания горных пород. Образующиеся при выветривании обломки под действием силы тя-

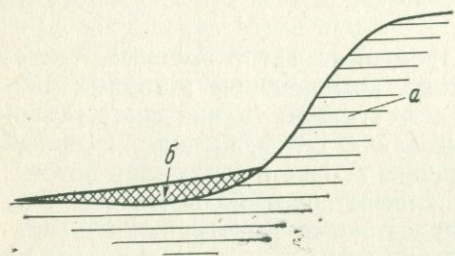


Рис. 36. Схема осыпи:  
а — коренная порода; б — осыпь

жести постепенно смещаются вниз по склону без всякой сортировки. Осыпь состоит из угловатых обломков пород разного размера: от песчинок до глыб объемом в несколько кубических метров. Мощность осыпей изменяется от долей метра до многих метров, достигая нередко 40 м. Поверхность осыпи представляет естественный откос крутизной от нескольких до 30—40°.

Смещение отдельных участков осыпи, насыщенной водой, называется *осовами*. Последние проявляются обычно на склонах, сложенных породами глинистого состава: глинистыми сланцами, опоками, мергелями и т. п.

В случае выветривания прочных скальных пород (гранитов и др.) на склонах и у подножия склонов накапливается грубообломочный материал, называемый курумами (*каменными осыпями*). Накопление грубообломочного материала на горизонтальных или почти горизонтальных террасах, плато и нагорьях называется *каменными россыпями*. Образуются россыпи обычно в горных районах в условиях жаркого засушливого климата и занимают нередко площади в десятки квадратных километров. Осыпи встречаются во всех горных районах СССР.

Обвалы — отрыв и падение с естественных склонов или с откосов выемок как отдельных небольших камней, так и

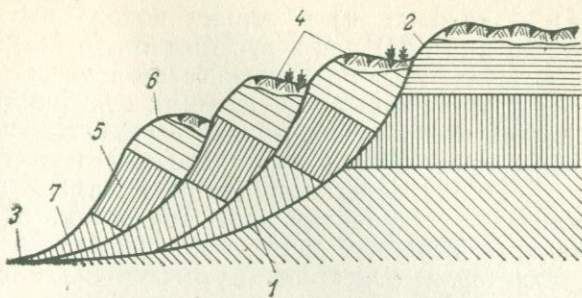


Рис. 37. Схема оползня.

1 — поверхность оползания; 2 — надоползневый уступ; 3 — базис оползня; 4 — оползневые террасы; 5 — тело оползня; 6 — голова оползня; 7 — язык оползня

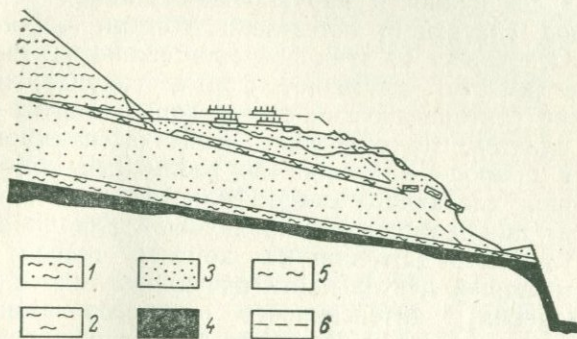


Рис. 38. Оползень на вскрышном уступе Байдаковского углеразреза.

1 — суглинок; 2 — глина; 3 — песок; 4 — уголь; 5 — каолин; 6 — положение уступа до оползня

колоссальных масс каменного материала; при движении камней происходит их опрокидывание, дробление и скатывание вниз по склону. Обвалы происходят обычно в горных районах на крутых и обрывистых склонах, на крутых морских побережьях и сравнительно редко на склонах глубоко врезанных речных долин. Гигантские обвалы наблюдаются редко, но их следы сохраняются надолго. В 1911 г. в результате землетрясения на р. Мургаб произошел обвал и образовалась плотина высотой свыше 500 м, что обусловило образование Сарезского озера, существующего до настоящего времени. Озера Рица на Кавказе, Искандер-Куль в Гиссарском хребте, Гель-Гель в Азербайджане и многие другие также образовались в результате обвалов. Мелкие обвалы в горных районах происходят очень часто и причиняют большой вред автомобильным и железнодорожным магистралям. Причиной образования обвалов является ослабление прочности и целостности горных пород под влиянием процессов выветривания.



Оползни — движение масс горных пород вниз по естественному склону (рис. 37) или искусственному откосу (рис. 38) под действием силы тяжести, связанное во многих случаях с деятельностью поверхностных и подземных вод (по Н. Ф. Погребову). Оползни чрезвычайно широко распространены в природе и нередко проявляются в грандиозных масштабах. На территории СССР они зарегистрированы в самых различных районах и причиняют народному хозяйству огромный вред, деформируя полотно железных дорог, мосты, ценные в лечебном отношении территории (Одесское, Крымское и Сочинское побережья Черного моря).

Причины, вызывающие оползневые явления, обуславливаются сочетанием ряда естественных и часто искусственных факторов, в совокупности нарушающих условия устойчивости горных пород, слагающих естественный склон или искусственный откос. Основными из этих факторов являются: геоморфология склона (высота, крутизна, форма склона); геологическое строение (литологический состав пород, формы и условия залегания пластов, тектонические особенности склона, встречающиеся в природе в бесконечно различных комбинациях); свойства пород, слагающих склон; гидрогеологические условия, обуславливающие возможность проявления гидродинамического и гидростатического давления на породы склона; интенсивность размывающей деятельности поверхностных вод (речных, озерных, морских); интенсивность процессов выветривания, снижающих целостность и прочность горных пород, их измельчение, образование трещин и т. п.; увеличение массы пород при их увлажнении осадками или при искусственном поливе; подрезка склона при строительстве дорог, каналов и других объектов; отсыпка вблизи склона отвалов горных пород, шлаков, насыпей, строительство других объектов, нарушающих статическое состояние склонов; динамические воздействия — от землетрясений, движущихся вблизи склона поездов, работающих поблизости механизмов (бетономешалок и т. п.), ударов волн, взрывных воздействий при ведении горных работ и т. п.; планировочные работы, увеличивающие крутизну склона.

Множество причин, обуславливающих образование оползней в их сложном сочетании и взаимодействии, породили большое число классификаций оползней, рассматриваемых в специальных руководствах.

При изучении оползней существенное значение имеет установление их морфологии (см. рис. 37), которая бывает самой разнообразной и зависит от состава пород, слагающих склон, условий их залегания, сочетания оползнеобразующих факторов и других причин. В каждом оползне различают следующие морфологические элементы: поверхность скольжения; надоползневой уступ; подошву оползня, или базис оползания; глубину оползания, или глубину захвата оползнем склона; оползневой



цирк; оползневые террасы; оползневое тело; оползневые накопления.

*Поверхность скольжения*, или *оползания*, — поверхность, по которой происходит отрыв и смещение оползающих масс горных пород. Форма поверхности скольжения в разных случаях бывает различной — волнистой, ломаной, плоской, в виде правильной кривой, приближающейся к циклоиде, что наблюдается при оползании в однородных глинистых породах.

*Надоползневой уступ* — уступ над сместившейся частью горных пород, сложенный породами в их коренном залегании. Высота уступа бывает различной: от долей метра до многих метров, превышая иногда 20 м.

*Базисом оползания*, или *подошвой оползня*, называют линию пересечения поверхности скольжения со склоном. Подошва оползня может совпадать с основанием склона либо быть выше него или ниже; в последнем случае часто образуется *вал выпирания*, удаленный от основания склона иногда на 100 м и более; подобные валы часто наблюдаются в районе г. Одессы. На одном и том же склоне может быть несколько оползающих массивов, у которых базис оползания находится на различных уровнях. Подобные оползневые склоны называются *многоярусными*, что имеет место на многих участках правобережья р. Волги и в других местах. Правильное определение подошвы оползня имеет большое практическое значение, позволяя установить причину образования оползня.

*Глубина оползания*, или *глубина захвата склона оползнем*, — расстояние от верхней поверхности склона до его оползания до поверхности скольжения, измеренное по нормали к поверхности склона путем реставрации последнего. Глубина захвата определяет размер оползня и часто влияет на выбор тех или иных противооползневых мероприятий.

*Оползневой цирк* — выемка, образовавшаяся на коренном склоне в результате смещения части пород, слагающих склон; обычно имеет овальную форму. Дугообразная линия, ограничивающая верхнюю часть цирка, называется *бровкой* оползня.

*Оползневая терраса* (или *террасы*) — площадка, образующаяся ниже надоползневого уступа на поверхности сместившихся масс, нередко имеющая наклон в сторону коренного склона. Таких террас бывает несколько, если оползень является сложным. Оползневые террасы ни в коем случае нельзя смешивать с речными террасами, так как это приведет к неверной инженерно-геологической оценке изучаемой территории.

*Тело оползня* — сместившиеся массы горных пород, имеющие различные внешние очертания: бугристые, ступенчатые, валообразные, грядообразные, смешанные. В оползневом теле различают *голову* — самую верхнюю часть оползня и *язык* — самую нижнюю часть.



*Оползневые накопления* — массы оползших горных пород, накопившиеся на склоне в результате неоднократно проявляющихся оползневых процессов. Оползневые накопления могут оставаться неизменными, увеличиваться, если происходит дальнейшее оползание, или уменьшаться при их размыве поверхностными водами. Очень часто оползневые накопления, остающиеся неизменными, являются естественной пригрузкой у основания склона, обуславливая его устойчивость.

Противооползневые мероприятия. В зависимости от причин и факторов, обуславливающих возникновение и развитие оползневых процессов, проводятся соответствующие противооползневые мероприятия, придающие склонам нужную устойчивость и тем самым предохраняющие сооружения и ценные территории от разрушений. Противооползневых мероприятий существует много, большинство из них представляют сложные сооружения, требующие значительных затрат средств и времени на их возведение и затем тщательного надзора за исправным состоянием. Поэтому выбор противооползневых мероприятий должен быть глубоко обоснован результатами тщательного и всестороннего изучения оползневых явлений, проявляющихся в данных конкретных природных условиях. Борьба с оползнями должна быть комплексной и состоять из ряда мероприятий, которые должны устранять все причины, обуславливающие неустойчивость горных пород на склонах; противооползневые мероприятия должны быть направлены в первую очередь на устранение главных, основных причин. В целом все многочисленные мероприятия по борьбе с оползнями подразделяются на профилактические и коренные.

*Профилактические, или пассивные,* мероприятия имеют целью: предотвращение излишнего увлажнения оползневых склонов поверхностными водами устройством нагорных канав, лотков, лесомелиоративных насаждений на склонах и т. п.; упорядочение строительства вблизи склонов автомобильных и железных дорог, тяжелых сооружений, каналов, цветников, предотвращение подрезки склонов, запрещение вблизи оползневых участков производства взрывных и горных работ и т. п.; запрещение вблизи неустойчивых склонов сбрасывать строительный мусор, шлаки, устраивать отвалы при ведении горных работ и т. д.; ограничение в необходимых случаях скорости движения поездов вблизи оползневого участка; недопущение вырубки древесно-кустарниковой растительности и уничтожения травяного покрова; осуществление строго рационального полива огородов, садов и цветников вблизи склонов в целях недопущения излишнего их увлажнения.

*Коренные, или активные,* мероприятия преследуют цель устранить причины, вызывающие оползневые явления. Поскольку одной из частых причин оползнеобразования является подмывающая деятельность поверхностных вод, для устранения

этого возводят дамбы, струеотклоняющие сооружения, волноломы, буны и т. п. Подземные воды, выходящие на склонах, также часто обуславливают их неустойчивость; для предохра-

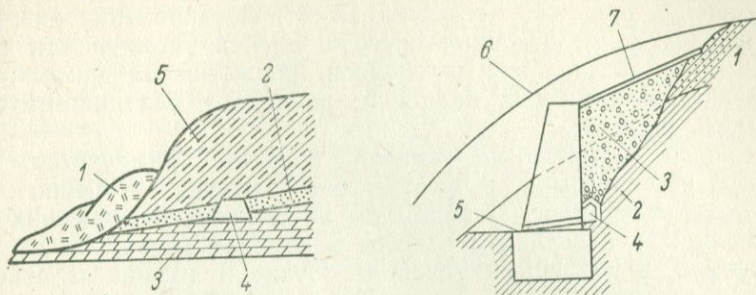


Рис. 39. Дренажная штольня на оползневом склоне.

1 — оползневые накопления; 2 — водоносный слой; 3 — коренные породы; 4 — штольня; 5 — четвертичные отложения

Рис. 40. Противооползневая подпорная стенка.

1 — оставшаяся часть оползня; 2 — коренные породы; 3 — дренажная засыпка пазухи; 4 — дренаж; 5 — вывод воды; 6 — поверхность оползня; 7 — гидроизоляция

нения склонов от отрицательного воздействия подземных вод устраивают различной конструкции дренажные сооружения, устраняющие выход подземных вод на склонах (рис. 39). Широко применяются также механические способы укрепления склонов устройством подпорных стенок (рис. 40) — контрбанкетов, контрфорсов, забивкой свай. Нередко устойчивость оползневых склонов достигается соответствующей их планировкой, устройством берм, срезкой более крутой верхней части склона и отсыпкой у основания склона срезанной части земляных масс или доставкой материала извне для устройства пригрузки у основания склона (рис. 41). Существенным противооползневым мероприятием является мелиорация пород, слагающих склон (силикатизация, смолизация, электрохимические способы, цементация, термическое закрепление), что значительно увеличивает сопротивление пород сдвигающим усилиям.

Рис. 41. Укрепление склона путем улоаживания откоса и устройства контрбанкета



Условия равновесия склонов. Равновесие пород, слагающих естественные и искусственные склоны, зависит от сочетания целого ряда естественных и искусственных факторов.



Оценка устойчивости склона представляет очень сложную задачу, что обуславливается многочисленностью причин и факторов, способствующих развитию различных деформаций на склонах. В практике исследований и проектирования разработаны следующие основные способы оценки устойчивости естественных и искусственных склонов: нормативных данных; инженерно-геологических аналогий; расчетные механико-математические способы.

*Способ нормативных данных* широко применяется при оценке устойчивости искусственных откосов, особенно при строительстве дорог. Основан он на данных многолетних наблюдений за поведением откосов в породах разных типов, работающих в различных условиях (сухие и подводные откосы, откосы насыпей, окопов, траншей и т. п.). Эффективность применения способа нормативных данных зависит от правильности определения состава пород, слагающих склоны, их физико-механических свойств и условий работы склона, в соответствии с чем устанавливается предельный угол заложения, обеспечивающий устойчивость откоса. Способ нормативных данных является разновидностью метода инженерно-геологических аналогий.

*Способ инженерно-геологических аналогий.* Применение этого метода основано на учете: геолого-литологического и геоморфологического строения склонов; физико-механических свойств пород, слагающих склоны, и изменения этих свойств во времени; обводненности пород и роли поверхностных и подземных вод в разрушении склонов; влияния климатических условий на устойчивость склонов; геологической истории формирования склонов; влияния современных геологических процессов на состояние склонов; эффективности примененных защитных мероприятий, обеспечивающих устойчивость склонов. Сопоставляя все эти данные на изучаемом склоне с откосом, где природные условия аналогичные и где уже эксплуатируются противоползневые сооружения, для вновь изучаемого склона дается соответствующая оценка условий его устойчивости.

*Механико-математические способы расчета устойчивости склонов.* Известные в настоящее время расчетные методы могут быть использованы пока только для оценки устойчивости склонов, сложенных песчано-глинистыми породами. Успех применения расчетного метода оценки устойчивости склонов зависит от выбора расчетной схемы, наиболее полно соответствующей основным природным особенностям изучаемого склона; выбора расчетных показателей, характеризующих сопротивление пород сдвигу в состоянии наименьшей прочности; выбора метода расчета. В настоящее время предложено и широко используется множество расчетных методов для оценки устойчивости склонов, подробно излагаемых в специальных руководствах [24 и др.].



## § 64. Явления, связанные с промерзанием и оттаиванием пород

Замерзание и оттаивание горных пород влекут за собой ряд физико-геологических явлений, которые могут влиять на различные сооружения. Вне области распространения многолетней мерзлоты замерзающий в зимнее время слой грунта принято называть *сезонной мерзлотой*. В СССР она не возникает лишь в некоторых местах — на Черноморском и Каспийском побережьях. Глубина слоя сезонного промерзания грунтов и продолжительность его сохранения зависят от температуры в зимний период, состава грунта, его влажности, характера растительности, времени образования снежного покрова, его мощности и пр. Сезонное промерзание и оттаивание грунтов оказывают вредное воздействие на части инженерных сооружений, находящихся в этом слое (фундаменты, водопроводы и т. п.). Поэтому, чтобы предотвратить это отрицательное воздействие, объекты возводят ниже слоя сезонного промерзания. Глубина его определяется путем непосредственных замеров или по схематической карте глубин сезонного промерзания грунтов, приложенной к СНиПу («Строительная климатология и геофизика»), либо по формулам.

В области распространения многолетней мерзлоты наблюдаются следующие физико-геологические процессы: морозобойное растрескивание пород, морозное пучение, наледи, термокарст и солифлюкция. Наледи, термокарст и солифлюкция описаны в главе IX.

Морозобойное растрескивание — возникновение в почве и горных породах трещин под воздействием сжатия верхних слоев при сильном зимнем охлаждении. Морозобойные трещины развиваются, как правило, на одних и тех же местах в течение многих лет. При этом поверхность почвы разбивается на полигоны четырех-, пяти- или шестиугольной формы, ограниченные сетью трещин. Процессы морозобойного растрескивания широко проявляются в северных районах нашей страны и должны учитываться при строительстве инженерных объектов.

Пучение — процесс увеличения объема промерзающего грунта, происходящий вследствие как увеличения объема замерзающей влаги, так и главным образом образования в промерзающих грунтах прослоек и линз льда, что особенно интенсивно происходит в условиях миграционного подтока воды извне к фронту промерзания. Особенно мощные прослойки и линзы льда в промерзающих грунтах образуются при длительной задержке границы промерзания на некоторой глубине и близком положении к той границе зеркала грунтовых вод. Если же промерзание идет интенсивно (при сильных морозах), то вода в дисперсных грунтах не успевает подтягиваться к фронту промерзания и линзы и прослойки льда при этом не обра-



зуются, а возникают лишь отдельные кристаллы льда, рассеянные во всей массе грунта и прочно цементирующие его частицы.

Пучение мерзлых грунтов оказывает отрицательное воздействие на различные сооружения, но наибольшие осложнения приносит полотну автомобильных и железных дорог и аэродромным покрытиям. Обычно поднятие грунта неравномерное, что изменяет профиль дорожного пути или покрытия. Весной при оттаивании грунт пучинистых мест разжижается и теряет способность поддерживать одежду дорог.

Пучение на дорогах и аэродромах имеет место не только в области распространения многолетней мерзлоты, но и в районах сезонной мерзлоты, хотя проявляется здесь менее интенсивно.

Условия строительства в районах многолетней мерзлоты. Огромное значение имеют вопросы учета своеобразных климатических, гидрогеологических и грунтовых условий конкретных стройплощадок, где намечается строительство определенных объектов. Практика свидетельствует, что в результате строительства температурный режим на площадках нарушается, что самым существенным образом изменяет гидрогеологические условия и физико-механические свойства грунтов основания. Обычно мерзлые грунты оснований под влиянием теплоотдачи от сооружений оттаивают, нередко на значительную глубину, а оттаявшие грунты становятся более или менее просадочными; в зависимости от скорости процесса оттаивания сооружения претерпевают деформации, нередко значительные. Следовательно, конструктивные решения при проектировании и строительстве сооружений, выполненные без учета их деформативно-напряженного состояния и условий их совместной работы с оттаивающими просадочными грунтами, приводят к преждевременному разрушению капитальных зданий, строящихся на этих грунтах. Об этом свидетельствует многолетняя практика строительства в районах Воркуты, Норильска, Забайкалья, Якутска, Магадана и др.

Достижения советских ученых в области мерзлотоведения дали возможность внедрить при строительстве в районах распространения мерзлых грунтов наиболее прогрессивный метод проектирования оснований и фундаментов сооружений на оттаивающих грунтах по предельным деформациям. Этот метод предусматривает всесторонний анализ деформативных свойств оттаивающих оснований, совместной работы системы основание — сооружение и условий их взаимодействия как при возведении сооружений, так и в период их эксплуатации. Применение этого метода позволило значительно снизить строительные расходы и одновременно повысить надежность и устойчивость сооружений.

В СНиПе II-Б, 6—66 «Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования» предусматриваются два принципа использования вечномерзлых грунтов как оснований сооружений: 1) с сохранением вечномерзлого состояния грунтов как оснований в течение всего периода эксплуатации сооружений и 2) с допущением оттаивания вечномерзлых грунтов основания до начала строительства или во время строительства и эксплуатации сооружения. Выбор того или иного принципа проводится на основе технико-экономических расчетов в зависимости от мерзлотно-грунтовых и климатических условий конкретной строительной площадки, ее геоморфологических особенностей, характера застройки, температурного режима сооружений, теплотехнических характеристик приземных ограждающих конструкций и чувствительности сооружений к неравномерным осадкам.

Подробно методы проектирования сооружений на вечномерзлых грунтах, их строительства и эксплуатации изложены в указанном СНиПе, а также многочисленных специальных руководствах.

### § 65. Инженерно-геологическая оценка явлений карста

На территории СССР карстовые явления развиты во многих районах. В связи с широким развитием карста, а также с тем, что многие месторождения полезных ископаемых (бокситы, огнеупорные глины, железные руды, уголь, редкие металлы и др.) связаны с карстом, последнему уделяется большое внимание. Особенно большое значение имеют карстовые явления в горной промышленности, так как при ведении горных работ в закарстованных породах притоки воды иногда возрастают до значительных размеров. Например, проходка стволов шахт 1 и 6 в Кизеле потребовала затраты огромных средств и 10 лет технически сложных работ. Вообще проходка стволов шахт в карстующихся породах невозможна без применения специальных способов (замораживания, цементации, глинизации, битумизации, кессонного способа, предварительного понижения уровня).

Для правильного решения вопроса о выборе того или иного способа борьбы с притоками воды в стволы шахт и другие горные выработки необходимыми и основными предпосылками являются знание природы карста в данном конкретном пункте, изучение динамики и химизма карстовых вод в условиях природного и искусственного режимов.

Особое значение имеет карст при строительстве гидротехнических сооружений: плотин, каналов, водохранилищ и др. Наличие карста в районе строительства гидротехнических сооружений обычно требует применения очень сложных и доро-



гих технических мероприятий устраняющих отрицательное влияние карста на эти сооружения.

Большое значение имеет проблема карста и для железнодорожного транспорта, как для уже действующего, так и при изысканиях и строительстве новых линий. Деформации железнодорожного полотна, вызываемые карстом, наблюдаются на многих железных дорогах СССР.

Существенное влияние карста на условия промышленного строительства выражается не только в трудностях выбора площадок для нового строительства, но и нарушении устойчивости уже существующих сооружений.

Таким образом, при строительстве разных сооружений в районах распространения карста необходимы очень тщательные инженерно-геологические исследования, данные которых служат основой для разработки противодеформационных мероприятий. При инженерно-геологических исследованиях изучают распространение, положение и размеры карстовых полостей, динамику карстовых вод в естественных условиях и при осуществлении строительства, связь карстовых вод с поверхностными, прочность и устойчивость закарстованных пород. Методами изучения карста являются историко-геологический анализ всей природной обстановки площадок, где намечается строительство, а также проведение разведочных выработок (шахт, штолен, шурфов), бурение скважин, применение геофизических методов. Результаты всесторонних исследований карста служат для целей инженерно-геологического прогнозирования — предсказания условий возведения сооружений и его работы в совокупности с имеющимися карстовыми процессами с учетом особенностей самого сооружения и намеченных в проекте защитных мероприятий.

## § 66. Суффозионные процессы

*Суффозия* — вынос из пород движущейся подземной водой мелких частиц, а также растворения и выщелачивание легкорастворимых веществ в породах, вызывающие деформации вышележащих масс пород.

Наиболее часто процессы суффозии проявляются в мелкозернистых песках. В результате выноса фильтрующейся водой мелких частиц пески разрыхляются, что нередко является причиной развития оползней. Это *механическая суффозия*, которая может проявиться только при соответствующем гранулометрическом составе и структуре песков и наличии так называемого гидродинамического давления на склоне. Гидродинамическое давление фильтрующейся подземной воды играет значительную роль в деформации искусственных откосов и естественных склонов.



## § 67. Плывуны в горных и других выработках

Термин *пльвун* широко употребляется в производственной и научно-технической литературе, но до самого последнего времени не имел ясного определения. В практике под *пльвунами* понимают водонасыщенные породы, которые при вскрытии их в котлованах, горных выработках, выемках и т. п. ведут себя подобно тяжелым, вязким жидкостям, приходя в движение и оплывая. В *пльвунном* состоянии могут находиться породы самого различного гранулометрического состава, способные при наличии соответствующего гидравлического градиента либо при встряхивании, вибрировании и других внешних механических воздействиях оплывать при вскрытии.

В подавляющем большинстве случаев *пльвунные* свойства присущи мелко- и тонкозернистым пескам, в которых содержится некоторое количество глинистых фракций и органические коллоиды. В породах глинистого и суглинистого состава *пльвучесть*, а точнее *текучесть*, проявляется только в свежееоложившихся осадках, когда они имеют рыхлое сложение, примером чего являются илы. Крупнозернистые породы — пески, галечники, иногда даже гравий — в *пльвунное* состояние могут переходить только при наличии значительной разности уровней подземных вод в котловане или горной выработке и за их стенками, когда проявляется взвешивающее действие гидродинамического давления.

У одних пород *пльвунные* свойства весьма стойкие, у других же при осуществлении некоторых мероприятий по их осушению они не проявляются. А. Ф. Лебедев на основании наблюдений в природе и проведенных опытов установил, что в природе существуют два типа *пльвунов*: *ложные*, или *псевдопльвуны*, и *истинные* *пльвуны*. В *псевдопльвунах* основной причиной, обуславливающей проявление в них *пльвучести*, является соответствующее гидродинамическое давление, при наличии которого даже гравий и галька могут проявлять *пльвунные* свойства. Природа *пльвучести* истинных *пльвунов* сложна. К наиболее «злостным» *пльвунам* относятся мелкозернистые пески, содержащие до 8—13% глинистой фракции монтмориллонитового состава и органические коллоиды. В проявлении свойств *пльвучести* у истинных *пльвунов* большое значение имеет тиксотропия, которая в мелкозернистых песках отмечается при наличии в их составе глинистых фракций в количестве не менее 2%.

Способы борьбы с *пльвунами* разнообразны и многочисленны. Для борьбы с *ложными* *пльвунами* наиболее эффективной мерой является их осушение. Способы осушения различны, методы расчета дренажных установок зачастую весьма сложны и излагаются в специальных руководствах, указанных выше.

Борьба с истинными *пльвунами* часто требует применения



сложных дорогостоящих мероприятий. Основными из них являются: устройство шпунтовых перемычек, ограждающих котлован, и т. п.; замораживание плывунов, что придает им временную прочность; применение сжатого воздуха (кессонный способ); электродренаж и электроуплотнение плывунных пород; осушение иглофильтрами в комбинации с вакуумированием или электродренажем; химические способы закрепления плывунов — силикатизация, смолизация и др. Выбор того или иного способа проводится по результатам технико-экономических расчетов.

## § 68. Землетрясения

Сейсмические явления различным образом влияют на устойчивость сооружений, что в основном зависит от следующих факторов: состава и свойств пород, служащих основанием сооружений; гидрогеологических особенностей местности; наличия и характера физико-геологических явлений; тектонических условий; силы землетрясений; характера и конструктивных особенностей сооружения.

Строительство различных объектов в сейсмических районах осуществляется в соответствии с требованиями, изложенными в действующих СНиПах, соблюдение которых обеспечивает устойчивость и долговечность сооружений. Основными из этих требований являются придание сооружениям большей жесткости, избежание строительства на участках с близким залеганием подземных вод, а также на участках с пестрым переслаиванием пород и тектонически нарушенных.

## § 69. Инженерно-геологические явления

Инженерная деятельность человека, осуществляемая в определенных природных условиях, вносит существенные изменения в ход протекающих физико-геологических процессов и явлений, которые в дальнейшем будут тесно взаимодействовать с построенными сооружениями, оказывая на них различные воздействия, чаще всего отрицательные. Явления и процессы, обусловленные совместным взаимодействием геологической среды с инженерными сооружениями, по предложению Г. Н. Каменского, называются *инженерно-геологическими*.

Инженерно-геологические процессы и явления могут быть самыми разнообразными, что обуславливается разносторонней инженерной деятельностью человека и чрезвычайным разнообразием природных условий, в которых она осуществляется. Наиболее существенное значение имеют следующие процессы: деформация грунтов в основании сооружений; просадки в лёссовых грунтах; деформация грунтов при вскрытии котлованов; переработка берегов водохранилищ; горное давление и

пучение при проходке тоннелей и горных выработок; сдвиги горных пород над подземными выработками.

Деформация грунтов в основании сооружений. Различные сооружения оказывают на горные породы, являющиеся основанием сооружений, дополнительные давления величиной от 0,1 до 0,5 МПа и в отдельных случаях (высотные здания, опоры мостов, гравитационные плотины и др.) 0,5—2,5 МПа. Дополнительное давление от массы сооружений действует на грунты основания как постоянная статическая вертикальная нагрузка, под влиянием которой толща пород сжимается, что влечет за собой оседание поверхности земли и построенных на ней сооружений. Вертикальные перемещения сооружений, обусловленные сжатием грунтов основания, называются *осадками*; абсолютная величина осадок в зависимости от свойств грунтов бывает различной — от долей сантиметра до 1 м и более. Не всякая осадка опасна для сооружений. Равномерная осадка сооружений в пределах всего его периметра не опасна, если даже абсолютная величина осадки будет достигать десятков сантиметров. Опасны неравномерные осадки сооружений, что обычно и наблюдается.

Сжимаемость пород разного состава и сложения бывает самой различной. Скальные породы в пределах нагрузок, практически достигаемых, испытывают только упругие деформации и деформации, связанные с закрытием трещин, абсолютная величина которых практического значения не имеет.

Сжимаемость гравия, галечника и им подобных грунтов, обусловленная структурными деформациями\*, в пределах практически достигаемых нагрузок незначительна и не имеет существенного значения.

Сжимаемость песков в основном обуславливается структурными деформациями; она может быть самой различной в зависимости от их состава, сложения, степени плотности, увлажнения и характера нагрузки. При действии только статических нагрузок даже рыхлые пески будут уплотняться в пределах, не опасных для сооружений. Несколько повышенная сжимаемость наблюдается в слабоуплотненных тонкозернистых и пылеватых разностях песчаных грунтов. При действии же динамических нагрузок уплотнение всех разновидностей песков, особенно рыхлосложенных, может быть весьма значительным и тем большим, чем выше интенсивность сотрясений. Особенно чувствительны к динамическим сотрясениям рыхлые мелкозернистые водонасыщенные пески. Сооружения, в основании которых залегают пески, перешедшие под влиянием динамических нагрузок в разжиженное состояние, претерпевают значительные деформации, вплоть до катастрофических.

---

\* Структурные деформации обусловлены взаимным перемещением минеральных частиц, что влечет за собой доуплотнение грунтов.



Наибольшая сжимаемость присуща грунтам глинистого состава. Особенно большие осадки (десятки сантиметров и нередко более метра) испытывают высокие земляные плотины, имеющие большую площадь основания, а также портовые сооружения (молы, набережные, причальные стенки и др.), которые часто приходится возводить на слабых водонасыщенных илистых грунтах.

В действующих СНиПах излагается методика расчета осадок сооружений и приводятся предельные величины средних осадков, прогибов, наклонов и кренов для различных сооружений в зависимости от типа, конструкции и назначения сооружений, применяемых строительных материалов и прочих условий. Для производства расчетов необходимы характеристики физико-механических свойств грунтов основания (см. главу II).

Просадки в лёссовых грунтах. Под лёссами и лёссовидными грунтами понимаются породы, сформировавшиеся в условиях засушливого климата и обладающие одним общим свойством — недоуплотненной структурой, не отвечающей напряженному состоянию, в котором эти грунты находятся в условиях их естественного залегания. Недоуплотненность обуславливает значительную пористость этих пород, достигающую иногда более 50%. Помимо обычной пористости лёссовидным грунтам и лёссам присуще также наличие крупных пор — макропор — размером иногда свыше 1 мм, хорошо видимых невооруженным глазом, преимущественно в виде вертикальных трубочек. Состоят лёссы и лёссовидные грунты в основном из фракций пыли и обычно имеют характерную палево-желтую или желто-бурую окраску. Распространены эти породы очень широко. В пределах СССР они залегают на большей части территории Украины, на юго-востоке европейской части, в Закавказье, Средней Азии, Сибири и на Дальнем Востоке; на относительно небольших площадях они встречаются также в Белоруссии, в центральных областях и других местах. Схематическая карта распространения лёссовых грунтов на территории СССР приведена в СНиПе «Строительная климатология и геофизика. Основные положения проектирования». Залегают лёссы и лёссовидные грунты на водоразделах в виде покрова, плащеобразно перекрывая более древние образования. Мощность их достигает иногда многих десятков метров, а в большинстве составляет 12—20 м. Ввиду значительной распространенности лёссы и лёссовидные грунты во многих случаях служат основанием самых различных сооружений или средой, в которой осуществляется строительство дорожных выемок, каналов и других объектов.

В естественных условиях при малой влажности лёсс и лёссовидные грунты обладают значительной механической прочностью и устойчивостью в откосах, сохраняя почти вертикальное положение при высоте откоса иногда более 10 м. При



увлажнении их прочность существенно уменьшается и они уплотняются; это свойство называется *просадочностью* и сопровождается необратимым изменением их структуры.

Просадки лёссовых пород в основании сооружений обычно неравномерные, что обуславливает неравномерную осадку сооружений, величина которой колеблется от нескольких десятков сантиметров до 2 м и более. Неравномерность осадок сооружений влечет за собой образование в зданиях трещин и других деформаций, а нередко и разрушение сооружений. Следовательно, чтобы предохранить сооружения, возводимые на просадочных грунтах, от различных деформаций, необходимо заранее знать степень их просадочности, в соответствии с чем и осуществляются различные защитные мероприятия, обеспечивающие устойчивость сооружений на весь срок их эксплуатации.

При определении степени просадочности лёссовых грунтов необходимо учитывать их генезис и стратиграфию. Из многочисленных генетических типов лёссовых грунтов (эоловых, аллювиальных и пролювиальных) наибольшая просадочность присуща эоловым и пролювиальным разностям. Стратиграфически лёссовые грунты в большинстве случаев состоят из нескольких горизонтов разного возраста, просадочность которых различна. Во многих случаях просадочные свойства присущи только верхним горизонтам. Для большей части территории СССР просадочная зона в лёссовых грунтах не превышает 5—8 м и только в районах нижнего течения р. Днепра, в Восточном Предкавказье и в некоторых районах Средней Азии мощность просадочных толщ достигает 16 м, редко больше. В практике же имеются случаи, когда значения относительной просадочности, определенные для верхних горизонтов, распространяются на всю толщу лёссовых пород, которая нередко составляет 26—30 м и более (до 100 м). Совершенно очевидно, что при этом допускаются грубые ошибки при определении общей величины просадки изучаемой толщи, что приводит к значительному перерасходу средств на осуществление защитных мероприятий.

Степень просадочности определяется по СНиПу II 15—74, в соответствии с которым грунтовые условия строительных площадок в зависимости от возможности проявления просадки от собственной массы пород при замачивании подразделяются на два типа:

I тип — просадка грунта практически отсутствует или она не превышает 5 см;

II тип — просадка возможна и величина ее превышает 5 см.

Установленный тип грунтовых условий по просадочности используется для назначения мероприятий, осуществление которых обеспечивает устойчивость и эксплуатационную пригодность сооружений. Разделение лёссовых грунтов на просадоч-



ные и непросадочные проводится путем послыого определения *показателя относительной просадочности* исследуемой толщи лёссовых грунтов. В соответствии с указанным СНиПом количественно степень просадочности лёссовых грунтов определяется в лабораторных условиях и непосредственно в поле. Методика этих определений изложена в соответствующей литературе.

В целях недопущения различных деформаций в зданиях и сооружениях, основанием которых служат просадочные грунты, в зависимости от степени их просадочности осуществляются различные защитные мероприятия. Они подразделяются на три группы: 1) мероприятия по защите естественного основания от замачивания атмосферными осадками, производственными и бытовыми водами; 2) конструктивные мероприятия, придающие сооружениям нужную жесткость и устойчивость; 3) мероприятия по искусственному закреплению, в результате чего их просадочные свойства устраняются. Мероприятия 1-й и 2-й групп подробно перечислены в СНиПе, а 3-й группы — в § 16 данной книги.

Деформация откосов карьеров и выпирание дна котлованов. При вскрытии котлованов, глубоких дорожных выемок, траншей, каналов, строительстве карьеров для разработки полезных ископаемых возможны самые разнообразные инженерно-геологические процессы и явления, которые необходимо заранее предвидеть и своевременно провести нужные профилактические мероприятия, устраняющие отрицательное воздействие этих процессов и явлений на условия строительства сооружений и их эксплуатацию в дальнейшем. Чаще всего в котлованах, траншеях, карьерах и других подобных выработках проявляются следующие инженерно-геологические процессы и явления: нарушение устойчивости откосов; набухание, пучение и выпирание грунтов на дне выработок; прорывы плывунов.

Нарушения устойчивости откосов чаще всего проявляются в следующих формах: оползании, обвалах, выдавливании, размыве откоса. Подробно оползни и обвалы рассмотрены в § 63.

Если в откосе будет наблюдаться выход подземных вод, то деформации откоса могут быть обусловлены проявлением процессов суффозии и гидродинамического давления, а также тем, что вода утяжеляет породы в откосе, уменьшает в них силы трения и сцепления, действует как смазка в контактных поверхностях пород. В этом случае осушение пород является основным мероприятием, устраняющим деформации откосов.

Выдавливание откоса или его части обуславливается проявлением свойств ползучести глинистых пород, слагающих откос, под давлением вышележащих горных пород. В результате выдавливания откосы оседают и смещаются. Подобные деформации обычно наблюдаются в длительно существующих



выемках и карьерах, когда под влиянием значительного перепада давления (на откосах давление равно нулю, а на некотором удалении в глубь откоса оно соответствует глубине, умноженной на объемную массу вышележащих пород) в глинистых породах проявляются процессы расслабления напряжений (релаксация), что и приводит по истечении какого-то времени к их выдавливанию. Для предотвращения подобной деформации откосы постоянно существующих выемок и карьеров необходимо уплачивать до нужной крутизны, что снижает перепад давления до безопасной величины, или же в основании откоса, сложенного глинистыми породами, устраивают искусственно подсыпку, что также снижает перепад давления.

Размыв откосов может быть обусловлен неорганизованным отводом ливневых и талых вод, в результате чего на откосах образуются промоины различной ширины и глубины, как правило, с крутыми стенками, что и влечет за собой деформацию откосов. Мерой борьбы с размывом откосов является отвод осадков нагорными канавами.

Пучение, выпирание дна котлована и прорыв подземных вод в котлован возможны, когда в котлованах вскрываются глинистые водоупорные породы, перекрывающие нижележащий водоносный горизонт с напорной водой. В зависимости от величины гидростатического давления, испытываемого глинистыми породами на дне котлована, возможно горбообразное вздутие дна траншеи, выемки или котлована — *пучение* (не надо смешивать этот вид пучения с морозным, разобранным выше) или даже *выпор* дна с прорывом подземных вод в котлован. Следовательно, основной причиной подобных процессов является наличие соответствующих гидрогеологических условий.

Переработка берегов водохранилищ. В СССР осуществляется широкое строительство плотин и создание водохранилищ, вода которых используется на самые различные нужды (для выработки электроэнергии, орошения, регулирования судоходства и т. п.). На водохранилищах, особенно крупных, под влиянием волн наблюдаются процессы переработки берегов и образование склонов нового профиля, что вызывает разрушение самых различных сооружений, располагающихся в зоне переработки. Величина зоны переработки зависит от различных факторов: высоты и скорости передвижения волн; высоты крутизны и формы береговых склонов; состава и условий залегания пород на склонах; гидрогеологических особенностей склона.

Существует ряд способов определения конечной величины зоны переработки и расчета скорости переработки во времени [24].

Для предотвращения переработки берегов, где расположены крупные населенные пункты, промышленные предприятия



и другие важные объекты, применяют те же мероприятия, что и при защите от действия морской абразии и речной эрозии.

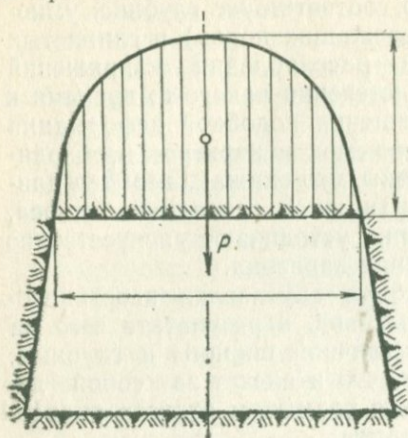


Рис. 42. Схема горного давления по гипотезе М. М. Протодяконова

Горное давление. Под горным давлением понимаются напряжения в горных породах, возникающие в них при проходке выработок. В естественных условиях горные породы находятся в состоянии напряженного равновесия. После проходки выработки равновесие нарушается, вокруг пройденной выработки в породах возникают напряжения сжатия, растяжения и сдвига, которые часто превосходят предел прочности пород, следствием чего является их деформация. Для предотвращения ее в выработках устанавливают крепление. Породы, стремящиеся к

обрушению, будут оказывать на крепь механическое воздействие, которое и называется горным давлением.

Основной причиной, вызывающей горное давление, является сила тяжести — масса горных пород. Но конкретные формы проявления горного давления в тоннелях и других подземных выработках зависят от сочетания многих факторов в их взаимодействии: физико-механических свойств пород, их тектонической нарушенности, характера слоистости и других свойств; глубины выработок, их размеров, формы и взаимного расположения; ориентировки выработок по отношению к элементам залегания горных пород; скорости проходки выработок и скорости постановки крепления; способа крепления кровли и механических свойств материалов, применяемых для крепления выработок.

Из многочисленных гипотез, объясняющих проявление горного давления, широко распространена гипотеза *свода обрушения*, наиболее обоснованно изложенная М. М. Протодяконовым в 1907 г. и используемая в настоящее время (рис. 42). Согласно этой гипотезе величина горного давления  $P$  определяется массой горных пород в объеме свода обрушения, образующегося в кровле выработки и имеющего сверху вид параболы. Соответственно величине горного давления и проводится расчет крепления горной выработки, который является ориентировочным; окончательно тип крепления и материал выбираются после натурного определения величины горного давления (с помощью различных приборов) непосредственно в выработках.

Пучение в горных выработках. Пучением называют деформации горных пород, залегающих в почве выработок, в виде пластического выдавливания их в выработки. Пучение является разновидностью горного давления. На глубине нескольких сотен метров оно возникает преимущественно в глинистых породах определенного минерального состава. Наиболее интенсивно пучение проявляется в глинистых породах монтмориллонитового состава, обогащенных гумусом и при наличии в диффузном слое катионов щелочной группы. Но при соответствующих условиях пучение присуще всем горным породам.

Пучение в горных выработках проявляется не сразу после их проходки, а с течением времени; с учетом этого его отрицательное воздействие может быть устранено или значительно снижено быстрыми темпами проходки выработок и немедленным их креплением. Все пустоты между облицовкой и породой должны тщательно тампонироваться сразу же после установления крепи. При надлежащем типе крепи эти мероприятия предотвращают развитие в глинистых породах процессов ползучести, что и предохраняет горные выработки от деформаций.

Прорыв в выработки подземных вод и газов. Подобные прорывы возможны при наличии тектонических трещин, зон разлома и карстовых пустот. Прорывы обычно проявляются только у забоя подземных выработок. Для их предотвращения при подходе подземных выработок к участку, где возможен прорыв, из забоя проходят опережающие скважины в горизонтальном или наклонном положении, нередко веерообразно. Число скважин, их глубина, конструкция и т. п. определяются гидрогеологическими расчетами, методика которых описывается в специальных руководствах. Проходка опережающих скважин осуществляется с принятием необходимых мер предосторожности.

При наличии на трассе подземной выработки на какой-либо глубине ниже подошвы выработки водоносного горизонта с напорной водой и при недостаточной мощности водоупорного пласта возможны прорывы подземных вод со стороны почвы. Подобные прорывы проявляются чаще всего не сразу после проходки выработки, а по истечении какого-то отрезка времени, что зависит от свойств глинистого водоупора. Возможность подобных прорывов определяется по формулам, приведенным в специальной литературе. Для предотвращения подобных прорывов в почве выработок сразу же после их проходки закладывают трубчатые водопонижающие колодцы, принимая нужные меры безопасности.

Сдвигение горных пород. Под сдвигением горных пород понимают деформации в породах, залегающих над выра-



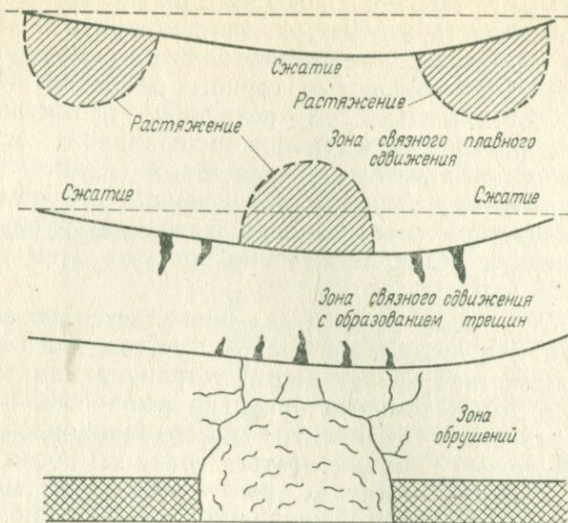


Рис. 43. Схема зон сдвижения пород над выработанным пространством (по С. Г. Авершину)

ботанным пространством. После выемки полезного ископаемого на высоту

$$h = \frac{m}{k-1},$$

где  $m$  — мощность пласта полезного ископаемого и  $k$  — коэффициент разрыхления пород (берется из таблиц), породы полностью разрушаются и обрушаются в выработанное пространство (если только последнее не будет искусственно заполнено

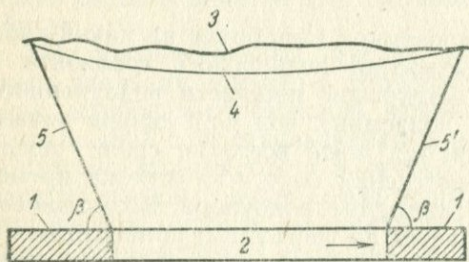


Рис. 44. Схема образования мулды сдвижения.

1 — пласт полезного ископаемого; 2 — выработанное пространство; 3 — первоначальное положение поверхности земли; 4 — поверхность земли в пределах мулды сдвижения; 5 и 5' — граница зоны сдвижения;  $\beta$  — угол сдвижения

каким-либо материалом); выше возникает комбинированный вид сдвижения — частичное обрушение и главным образом связанное сдвижение с образованием трещин и еще выше связанное плавное сдвижение пород (рис. 43).

В результате сдвижения горных пород поверхность земли над выработанным пространством оседает и образуются *мульды сдвижения* (рис. 44). В пределах мульды сдвижения возникает опасность разрушения поверхностных сооружений: зданий, дорог, плотин, мостов и др. Оконтуривают мульды сдвижения графическим построением, в основу чего кладут *углы сдвижения*. Сдвижение горных пород определяется специальными расчетами, методика которых излагается в соответствующих руководствах.

В соответствии с установленной степенью опасности, а также в зависимости от категории сооружения применяют различные мероприятия, предохраняющие сооружения от недопустимых деформаций. Главнейшими из этих мероприятий являются: оставление предохранительных (охранных) целиков; полная или частичная закладка выработанного пространства; временное изменение характера эксплуатации наземных сооружений, подвергающихся подработке (переселение жильцов, временное прекращение работы и т. п.); применение дополнительных устройств, увеличивающих прочность и жесткость сооружений.

### Глава XIII

## ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

### § 70. Объем и характер гидрогеологических исследований при геологоразведочных работах

Гидрогеологические условия имеют значительное, нередко решающее значение при оценке разведанных месторождений, поэтому изучению гидрогеологических и инженерно-геологических особенностей месторождений всегда уделяется должное внимание. Проводятся они одновременно с геологоразведочными работами. Как известно, геологоразведочные работы проводятся стадийно в следующей последовательности: а) региональное обобщение; б) поиски и предварительная разведка; в) детальная разведка; г) эксплуатация. В зависимости от стадии геологоразведочных работ, а также типа месторождения и сложности геологического строения района исследований объем, содержание, методика и техника гидрогеологических исследований могут существенно изменяться. При этом месторождения различных типов в зависимости от сложности геологического строения и гидрогеологических условий в свою очередь подразделяются на подтипы, соответственно чему и дифференцируются общий объем гидрогеологических исследований и методика их выполнения.



На стадии поисков и предварительной разведки проводится комплексная геолого-гидрогеологическая маршрутная или площадная съемка в масштабе 1 : 500 000—1 : 1 000 000 и мельче, которой предшествуют сбор и изучение всех фондовых и опубликованных материалов по району предстоящих работ. В процессе ведения съемки осуществляется наблюдение за источниками, колодцами, собираются материалы по действующим и недействующим буровым скважинам. Если в районе работ или поблизости имеются эксплуатируемые или уже выработанные месторождения, собираются данные наблюдений за притоками воды в горные выработки. Полученные материалы дают возможность получить самое общее представление о гидрогеологических условиях месторождения.

При предварительной разведке комплексная геолого-гидрогеологическая съемка проводится в более крупном масштабе (1 : 200 000—100 000), бурятся одиночные гидрогеологические скважины для производства опытных работ (см. главу IV), устанавливаются число водоносных горизонтов, их состав, мощность, глубина залегания, величина напоров, определяется гидравлическая взаимосвязь водоносных горизонтов между собой и с водами поверхностных водотоков и водоемов; наиболее полно освещается основной водоносный горизонт, который в наибольшей степени будет обводнять горные выработки. Число одиночных гидрогеологических скважин зависит от площади разведываемого месторождения, сложности геолого-гидрогеологических условий и указывается в программе работ. Полученные в процессе ведения предварительной разведки материалы дают возможность охарактеризовать степень обводненности месторождения в целом и отдельных его участков, а также обоснованно запроектировать виды и объем опытных гидрогеологических работ на стадии детальных разведок.

На стадии детальной разведки основным целевым назначением гидрогеологических исследований является получение необходимых данных для утверждения запасов полезного ископаемого по категориям А и В и составления комплексного проектного задания по освоению месторождения, в том числе по вопросам осушения и водоснабжения. В период проведения геологоразведочных работ на стадии детальной разведки должны быть: детально изучены условия обводнения горных выработок; выявлены количественно статические и динамические запасы подземных вод в пределах всего месторождения и отдельно для каждого шахтного поля; в соответствии с ожидаемыми притоками и характером обводненности горных выработок обоснованы мероприятия по борьбе с подземными водами при вскрытии месторождения и затем при ведении эксплуатационных работ; изучены физико-механические свойства пород для расчетов ожидаемого горного давления и пучения, а в случае ведения работ открытым способом — для расчета устойчи-

восты откосов; качественно и количественно изучены источники водоснабжения с рекомендацией наиболее благоприятных участков для устройства водозаборных сооружений.

В период детальной разведки для производства опытных работ гидрогеологические скважины (одиночные или кусты) закладывают из расчета одна-две на 2—5 км<sup>2</sup> разведываемой площади; места их заложения выбирают с расчетом, чтобы возможно полнее охарактеризовать наиболее сложные в гидрогеологическом отношении участки месторождения.

По материалам детальной разведки составляют геолого-гидрогеологические карты масштаба 1 : 50 000—1 : 5000, а для отдельных наиболее сложных участков и в более крупном масштабе, что позволяет обоснованно решать все вопросы, возникающие при составлении комплексного проекта вскрытия и разработки месторождения.

### § 71. Гидрогеологическая съемка

Гидрогеологическая съемка предназначена для изучения гидрогеологических условий картируемой территории: наличие, распространение, состав и мощность водовмещающих и водопорных пород; условия питания, движения и разгрузки подземных вод; фильтрационные свойства водоносных пород; качество, ресурсы и режим подземных вод; разнообразные геологические, геоморфологические, климатические, геокриологические и другие факторы формирования подземных вод.

В соответствии с инструктивными указаниями в зависимости от стадии исследований гидрогеологическая съемка проводится в различных масштабах: на стадии поисков 1 : 500 000—1 : 1 000 000 и более мелком, на стадии предварительных исследований 1 : 100 000 — 1 : 200 000 и на стадии детальных работ 1 : 50 000—1 : 5000 и более крупном. В процессе гидрогеологической съемки должен быть собран фактический материал, достаточный для характеристики гидрогеологических условий картируемой территории, соответствующий целям и масштабу исследований. При проведении гидрогеологической съемки применяют в рациональном сочетании следующие виды работ: маршрутные исследования; картировочное бурение и гидрогеологическое опробование скважин; режимные наблюдения; геофизические работы; аэрофотосъемку и аэровизуальные наблюдения; лабораторные работы.

Гидрогеологические съемки начинают с детального изучения опорного разреза и характера водоносности горных пород района. Изучение опорного разреза должно проводиться полным составом партии в целях выработки общего подхода к выделению водоносных горизонтов, пород и т. п.

Основным видом работ, применяемым при гидрогеологической съемке, являются *маршрутные исследования*. При прове-



дении гидрогеологических маршрутов подробно описываются естественные выходы подземных вод (источники, заболоченность, мочажины, более пышная и яркая растительность и др.), шахтные колодцы, буровые скважины, кяризы и другие выработки, вскрывающие подземные воды. При изучении естественных выходов подземных вод и выработок, вскрывающих подземные воды, необходимо: установить местоположение водоисточника на местности и высоту его по отношению к уровню ближайшей реки, балки, озера и т. п.; выяснить, к каким породам приурочены подземные воды, питающие данный водоисточник, отметив их возраст, условия залегания, литологический состав, характер слоистости, трещиноватости, закарстованности; описать физические свойства воды: температуру, вкус, запах, цвет, прозрачность; сделать полевой химический анализ воды.

При изучении источников, кроме того, необходимо: выяснить тип родника; установить характер выхода подземной воды (коренной или дериват), форму и размеры родниковой воронки; зарисовать и сфотографировать место выхода источника; изучить режим источника за период не менее года; если источник вытекает из трещины, определить характер трещины, ее размеры, падение и простираение; охарактеризовать минеральные отложения источника и отобрать из них пробы для химического анализа; замерить расход (дебит) источника.

При описании шурфов, колодцев и скважин, кроме того, необходимо: определить глубину от поверхности земли до дна и диаметр; определить положение уровня воды от поверхности земли; характер использования воды и наличие водоподъемных средств; определить в необходимых случаях дебит; сделать полевой химический анализ воды. При наличии эксплуатационных на воду скважин необходимо по архивным данным получить геологический и технический разрез скважин, выяснить число вскрытых ими водоносных горизонтов, их стратиграфическое положение, производительность и химический состав воды каждого горизонта.

Из характерных водопунктов отбирают пробы воды (а при необходимости и газа) для сокращенного и полного анализов. Опробованию подвергают все водоносные горизонты и на различных участках, выделяемых по геоструктурным, геоморфологическим и другим признакам; как правило, пробы воды отбирают в областях питания, погружения и разгрузки каждого водоносного горизонта. Для сокращенного анализа пробу воды отбирают объемом 1 л, для полного — не менее 2 л, а в районах, где возможно наличие руд цветных и редких металлов, нефти, газа или лечебных вод, — 3—5 л.

При гидрогеологической съемке в районах развития многолетней мерзлоты изучают: характер многолетней мерзлоты (сплошная, островная, талики); наличие надмерзлотных, межмерзлотных и особенно подмерзлотных вод, площадь их рас-



пространения и глубину залегания; режим типичных источников, особенно в период февраля—марта; наледи, бугры пучения и особенно гидролакколиты; промерзаемость рек и наличие подруслового потока. При проведении гидрогеологической съемки в пустынных и полупустынных районах изучают: геоморфологические условия (особенности гидрографической сети), характер режима водотоков, оконтуривают площади разлива рек, определяют наличие лиманов, западин, солончаков, такыров, соров, участка закрепленных и развесаемых песков; выявляют площади распространения линз пресных грунтовых вод, мощность линз, химический состав, ориентировочные запасы и условия водоотбора. Для выявления линз пресных вод успешно применяются геофизическая и геоботаническая съемки.

Гидрогеологическая съемка сопровождается бурением скважин, проходкой шурфов и канав; для закрытых районов и предгорий результаты бурения являются основными материалами для составления гидрогеологической карты. Расположение буровых скважин при съемке проводится с расчетом, чтобы ими были охарактеризованы все основные горизонты в различных геолого-структурных и геоморфологических элементах. Первые от поверхности водоносные горизонты должны быть охарактеризованы числом точек наблюдений от 0,08 до 0,36 на 1 км<sup>2</sup> в зависимости от сложности гидрогеологических условий и масштаба съемки. Для характеристики более глубоких горизонтов буровые скважины проводят из расчета одна-две на каждый геоструктурный элемент в пределах планшета, но не менее трех на планшет. Глубина скважин определяется, как правило, глубиной залегания водоносного горизонта, имеющего практическое значение для данного района. Не исключается бурение глубоких структурно-гидрогеологических скважин, что обосновывается в проекте работ. Все горные выработки документируются в журналах, форма которых приведена в инструкции.

Количественное опробование водоносных горизонтов, вскрываемых скважинами, проводится прокачками (тартанием), пробными и опытными откачками. Прокачки (желонирование) проводятся во всех скважинах, вскрывающих водоносные горизонты, пробные откачки — из всех водоносных горизонтов. Основные водоносные горизонты или комплексы характеризуются опытными откачками при двух-трех понижениях. Число пробных и опытных откачек, предусмотренных проектом, в соответствии с выявленными в процессе ведения полевых работ конкретными природными условиями могут быть изменены, но затем обоснованы. В процессе откачек ведется журнал откачки, форма которого приведена в инструкции.

В процессе гидрогеологической съемки проводятся наблюдения за режимом подземных вод в специально оборудованных для этой цели наблюдательных точках (скважинах, шурфах, над источниками). Наблюдательные точки располагаются в



наиболее характерных местах распространения водоносных горизонтов (водоразделах, речных долинах и т. п.). Наблюдения в пределах одного и того же планшета проводятся не менее года. При организации наблюдений за режимом подземных вод руководствуются специальной инструкцией и методическим руководством, составленным ВСЕГИНГЕО [14, 23].

Полевые гидрогеологические карты составляются непосредственно в поле, маршруте, с непрерывным наращиванием заснятой площади; составление полевых карт по окончании полевых работ категорически запрещается. Все описанные обнажения, геоморфологические створы, физико-геологические явления, колодцы, скважины, источники и другие точки наблюдений наносятся на карту под соответствующими номерами; нумерация в пределах планшета должна быть единой, эти же номера должны соответствовать зарисовкам, фотографиям, коллекциям образцов и проб воды. Все гидрогеологические точки наблюдения наносятся на карту условными знаками, которые ставят также в полевой книжке рядом с номером точки наблюдения. Описание скважин, колодцев и источников проводится по формам, образцы которых приведены в инструкции.

Пробы воды для полевых химических анализов отбираются из всех источников, скважин, колодцев, озер, рек, прудов и других водоемов. Анализ проб на нестойкие составляющие (рН,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ) должен проводиться непосредственно у водосточника либо в полевой лаборатории на базе партии не позднее дня после взятия пробы. К пробам не сокращенный и полный химические анализы, отправляемым в стационарную лабораторию, прикладываются результаты определения нестойких компонентов.

В процессе ведения гидрогеологической съемки отбираются образцы пород из обнажений, скважин и шурфов из основных рыхлых литологических и генетических разностей. Для определения объемной массы образцы отбираются с ненарушенной структурой и немедленно парафинируются. На отобранных образцах определяют гранулометрический состав, плотность и объемную массу, естественную влажность, пределы пластичности, коэффициент фильтрации (в трубке «Спецгео» или Каменского) и водоотдачу; этот перечень может видоизменяться, что предусматривается в проекте работ.

Аэрофотосъемка и аэровизуальные наблюдения применяются для картирования грунтовых вод и физико-геологических явлений, что позволяет значительно сократить объем других видов полевых исследований, повысить производительность работ, более точно зафиксировать очертания изучаемых объектов и их пространственные изменения. Гидрогеологическое дешифрирование аэроснимков является сложной задачей; методика дешифрирования излагается в специальных руководствах.

Геоботанические наблюдения позволяют получить важные



сведения о подземных водах, залегающих вблизи поверхности земли, о литологическом составе и фильтрационных свойствах водоносных пород. В качестве показателей гидрогеологических условий используются растительные сообщества, а также отдельные виды растений, которые С. В. Викторов и Е. А. Востокова называют *гидроиндикаторами*. Особенно эффективны геоботанические наблюдения в засушливых и пустынных областях, а также в районах развития болот и заболоченных массивов.

## § 72. Гидрогеохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых

Гидрогеохимические методы применяются для поисков рудных и нерудных (солей, серы, бора и др.) месторождений, минеральных (лечебных и промышленных) вод, нефтяных и газовых месторождений. От других методов поисков они отличаются глубиной. При гидрогеохимических поисках основным объектом исследований являются подземные и поверхностные воды, систематическое опробование которых позволяет оконтурить на картируемой территории водные ореолы рассеяния, характеризующиеся повышенным по сравнению с фоновым содержанием в воде некоторых элементов или их комплекса.

На стадии поисковой съемки рекомендуется на 1 м<sup>2</sup> картируемой площади пробы воды отбирать в 0,02—0,05 точек, на стадии предварительной 0,09—0,5 точек и на стадии детальной 0,7—3,6 точек. Точками отбора проб воды являются: источники и мочажины; колодцы и буровые скважины; горные выработки (канавы, шурфы, штольни и т. п.); ручьи и реки второго, третьего и более мелких порядков с расходом, не превышающим обычно 1,5 м<sup>3</sup>/с; пруды и озера, питание которых происходит за счет подземных вод; заболоченности и болота. Содержание в воде элементов меняется в различные сезоны года и поэтому их следует определять в разные периоды года.

Гидрогеохимические признаки дают особо надежные данные в районах распространения нефтяных и газовых залежей, месторождений различных солей, руд цветных и редких металлов. Они в комплексе с другими методами позволяют обоснованнее выделять перспективные участки для последующих более детальных исследований. Отчетливые гидроореолы рассеяния протяжением от нескольких сотен метров до нескольких километров образуют наиболее подвижные в зоне гипергенеза рудные элементы: медь, цинк, молибден, уран, никель, кобальт, ванадий, олово, свинец, хром и др.; существенное значение имеет также сульфат-ион, весьма характерный для ореолов рассеяния сульфидных месторождений.

Успешному применению гидрогеохимического метода способствуют расчлененный рельеф и хорошо развитая гидросеть. При благоприятных условиях по водным ореолам рассеяния удава-



лось обнаружить рудные залежи на глубине 100—200 м. Вот почему гидрогеохимический метод считается наиболее глубинным из всех геохимических методов.

В поверхностных и подземных водах в той или иной степени мигрируют все химические элементы, содержание которых увеличивается в водах, дренирующих рудные месторождения (табл. 12).

Таблица 12

Металл	Реки и подземные воды безрудных районов	Воды, дренирующие месторождения данного металла
Никель	$n \cdot 10^{-6}$ — $n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$ — $n \cdot 10^{-3}$
Кобальт	$n \cdot 10^{-7}$ — $n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$ — $n \cdot 10^{-3}$
Уран	$n \cdot 10^{-8}$ — $n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$ — $n \cdot 10^{-3}$
Молибден	$n \cdot 10^{-7}$ — $n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-5}$ — $n \cdot 10^{-4}$
Свинец	$n \cdot 10^{-7}$ — $n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-5}$ — $n \cdot 10^{-3}$

Из табл. 12 следует, что содержание металлов в водных ореолах рассеяния около рудных залежей возрастает в десятки и сотни раз по сравнению с безрудными районами.

При гидрогеохимических поисках прежде всего нужно иметь данные о среднем так называемом *фоновом* содержании металлов в водах данного района, которое не является постоянным для всех районов и зависит от геологических и биоклиматических факторов. Так, по одному из районов Рудного Алтая фоновое содержание металлов в поверхностных водах достигает 0,01 мг/л, в грунтовых 0,012 мг/л, в трещинных и трещинно-пластовых напорных 0,007 мг/л. Для Салаира наблюдается иное фоновое содержание металлов: в поверхностных и грунтовых водах до 0,009 мг/л, в глубоких подземных до 0,007 мг/л. При этом необходимо определять фоновое содержание не только суммы металлов, но и для каждого элемента отдельно. Пробы воды отбираются объемом не менее 3—5 л. Следует отметить, что количественные поисковые критерии при гидрогеохимических поисках на разные компоненты в зависимости от природных факторов (климатических, геоморфологических, геологических, гидрогеологических и др.) находятся в начальной стадии разработок, что затрудняет обоснованную оценку района исследований по гидрогеохимическим признакам и характеристику металлоносности различных типов природных вод.

Результаты полевых гидрогеохимических исследований оформляются в виде ряда гидрогеохимических карт: общей сводной карты, гидрогеохимических карт по отдельным элементам, детальных карт для отдельных наиболее перспективных

участков. Составляются также графики: для определения фона металлоносности отдельных типов природных вод; графики зависимости металлоносности вод от метеорологических факторов; от рН воды, от содержания тех или иных ионов и других факторов; графики металлоносности поверхностных, грунтовых подземных вод и др. На сводной карте освещается полный состав тяжелых металлов в водах и дается гидрогеохимическое районирование по преобладающим концентрациям в водах тех или иных тяжелых металлов. Градация содержания металлов в разных условиях может выражаться различными величинами. Например, в одних условиях содержание меди более 0,1 мг/л характеризуется как высокое, 0,1—0,05 мг/л — как повышенное; в других же условиях содержание меди более 0,05 мг/л является высоким, 0,05—0,02 мг/л — повышенным. При использовании гидрогеохимических карт необходимо также учитывать данные, полученные другими методами геохимических поисков. Следует отметить, что единая методика составления гидрогеохимических карт и других графических иллюстраций еще не разработана.

### § 73. Гидрогеологические наблюдения в скважинах и горных выработках

При организации и проведении разведочных работ на месторождениях полезных ископаемых, при поисках и разведке подземных вод для целей водоснабжения, при инженерно-геологических исследованиях и в других случаях, где необходимо изучение подземных вод, наиболее точные данные о гидрогеологических условиях изучаемой территории получают при проходке скважин и других горных выработок.

Разведочные гидрогеологические скважины проводятся ударным или вращательным (колонковым и роторным) способом. С гидрогеологической точки зрения оба способа имеют свои преимущества и недостатки. Преимуществом ударного способа бурения является хорошая возможность изучения всех проходящих в процессе бурения водоносных горизонтов — их состава, мощности, положения уровней, сохранение их естественной проницаемости и ряд других; недостатками этого вида бурения является небольшая скорость проходки, отсюда его дороговизна, невозможность взятия образцов пород с ненарушенной структурой для последующего изучения их свойств.

Преимуществами вращательного способа бурения являются скорость проходки скважин, особенно при роторном бурении, возможность взятия образцов пород естественного сложения (только при колонковом способе), а основным недостатком — необходимость применения глинистой промывки для крепления стенок скважин, что вызывает изменение химического состава подземных вод и их температуры, а главным недостатком явля-



ется глинизация стенок скважин, что влечет за собой кольматацию (вмывание в поры и трещины глинистого вещества) и снижение водопроницаемости водоносных горизонтов; это снижение тем больше, чем больше проницаемость пласта. Для деглиннизации водоносных горизонтов в целях их качественного и количественного опробования приходится осуществлять специальные работы, что, разумеется, в известной мере осложняет разведочные работы. Следует, однако, отметить, что некоторые недостатки вращательного способа устраняются при применении соответствующих геофизических методов исследования.

Для освещения гидрогеологических условий разведваемой территории и получения количественных гидрогеологических характеристик пород, проходимых в процессе бурения, при бурении скважин проводятся следующие наблюдения и опытно-исследовательские работы: замеры уровней воды в скважине; наблюдения за поглощением промывочной жидкости; наблюдения за самоизливом воды из скважин; определение температуры воды в скважине; замеры выхода газа из скважины; наблюдения за провалами бурового инструмента при бурении; наблюдения за входом керна и его макроскопическое излучение; пробные, опытные и пробно-эксплуатационные откачки; наливки; отбор проб воды, газа и образцов пород для анализа и лабораторных исследований.

Замеры уровней воды в скважине. При наблюдениях за уровнем воды различают глубину появления воды и установившийся уровень в скважине, называемый статическим. Замеры уровня воды в скважине должны проводиться от одной постоянной точки у устья скважины, отметка которой должна быть неизменной. Точность замера 1—2 см. При бурении без промывки определение глубины появления воды и установившегося уровня никаких затруднений не вызывает. Необходимо только внимательно следить за появлением воды в скважине и немедленно замерять ее глубину при появлении воды. Для определения установившегося уровня бурение прекращают, снаряд извлекают и через каждые 10—15 мин замеряют уровень воды в скважине; замеры прекращают, если два-три последних замера не будут отличаться более чем на 2 см.

При бурении с глинистой промывкой положение вскрываемого водоносного горизонта определяют косвенно на основе наблюдений за выходом и потерями промывочной жидкости во время бурения, а частично также по изменению химического состава последней. Вообще при этом способе бурения получение надежных гидрогеологических данных значительно осложняется. О возможном вскрытии водоносных горизонтов в этом случае судят по следующим признакам: потерям глинистого раствора; изменению уровня глинистого раствора после прекращения бурения; изменениям физических свойств глинистого раствора — вязкости и плотности, которые уменьшаются при

вскрытии водоносного горизонта; данным анализа водных вытяжек из глинистого раствора. Более надежные данные о

вскрытии водоносного горизонта при бурении с глинистой промывкой получают при помощи геофизических методов исследований, о чем подробнее сказано ниже.

Проводить отбор проб воды для химического анализа и замеры температуры воды вскрываемого водоносного горизонта при бурении с глинистой промывкой невозможно; для этих целей требуется соответствующая подготовка скважины, которая и осуществляется в скважинах, предназначенных для опытно-исследовательских работ (откачек, наливов и т. п.).

Изменение уровней в скважинах проводится при помощи самых разнообразных приборов; подробное описание

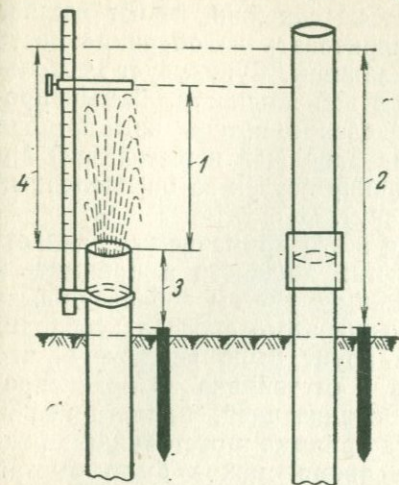


Рис. 45. Измерение высоты фонтана, статического и динамического уровней при самоизливе.

1 — высота фонтана; 2 — высота статического уровня; 3 — высота динамического уровня; 4 — понижение

этих приборов, а также методика работы приводятся в специальных руководствах [23].

При вскрытии водоносных горизонтов с фонтанирующей (самоизливающейся) водой статический уровень измеряют путем наращивания обсадных труб выше поверхности земли, пока самоизлив не прекратится (рис. 45). В случае значительной высоты фонтанирования наращивание труб затруднительно; в подобных случаях устье фонтанирующей скважины герметически закрывается специальным оголовьем с вмонтированным манометром, по показаниям которого и судят о положении статического уровня. Если в подземных водах содержится газ в количестве более 0,2 л на 1 л воды, замеры уровней при помощи пружинных манометров являются неточными, превышающими истинные статические уровни. Это обусловливается тем, что при полной герметизации в верхней части скважины скапливается газ, выделяющийся из воды; образующаяся при этом «газовая шапка» оказывает дополнительное давление на манометр, искажая истинное гипсометрическое положение статического уровня подземных вод. В таких случаях устьевые манометры рекомендуется подключать к трехходовому крану, позволяющему периодически выпускать скапливающийся свободный газ, либо же определять уровни по способу, предложенному Е. Е. Керкисом.



Наблюдения за поглощением промывочной жидкости. Данные о поглощении промывочной жидкости породами, вскрываемыми при проходке скважин, имеют важное значение; они позволяют охарактеризовать водопроницаемость пород в отдельных интервалах скважины. Существует несколько способов учета потерь промывочной жидкости. Самый простой и надежный способ — определение потерь при помощи двух водомеров, установленных на входящей и выходящей линиях; разность отсчетов дает величину потери за определенный отрезок времени (например, за смену).

Более простым способом, чаще всего применяемым, является тщательное измерение количества жидкости в приемке и отстойнике в начале и в конце смены с учетом добавленной за это время жидкости. При применении этого способа необходимо, чтобы просачивание воды в грунт было исключено, что достигается устройством приемка и отстойника из водонепроницаемых материалов либо же глинизацией, цементацией и гидронированием их стенок. Форма приемка и отстойника должна быть такой, чтобы в любое время можно было быстро определить объем находящейся в них жидкости.

Замеры температуры воды. Измерение температуры в неглубоких скважинах (до 100 м) проводится при помощи родникового термометра.

Для замера температуры воды в очень глубоких скважинах применяют специальные *глубинные* термометры, рассчитанные на большие давления. Опускают эти термометры на стальном тросе при помощи лебедки и треноги. Глубинные термометры изготавливаются для различных глубин. Замеры температур в глубоких скважинах проводят также при помощи электротермометров.

Измерять температуру воды в фонтанирующей скважине, а также при откачке можно любым термометром, погружая его в струю воды; при откачках температуру замеряют в начале, середине и конце каждой смены откачки.

Типы термометров, применяемых при гидрогеологических исследованиях, описаны в специальных руководствах.

Выход газа из скважины. Газ может выделяться в виде пузырьков или газо-водяной эмульсии, выбрасываемой из скважины. При появлении газа надо быть крайне осторожным с огнем во избежание пожара или взрыва, если выделяющийся газ легко воспламеняющийся. При опробовании газоносности подземных вод в скважинах необходимо определить состав свободно выделяющегося и растворенного газа, а также фазовое состояние газа на глубине залегания пласта, что в свою очередь требует определения объемного соотношения газ + вода. Пробы свободно выделяющегося и растворенного газа отбираются методом вытеснения воды газом, для чего употребляется бутыл, заполненная водой, в которую газ поступает через шланг,



вмонтированный в пробку, закрывающую бутылку; для выхода воды, вытесняемой газом, в пробку, закрывающую бутылку, вставлена трубка (рис. 46).

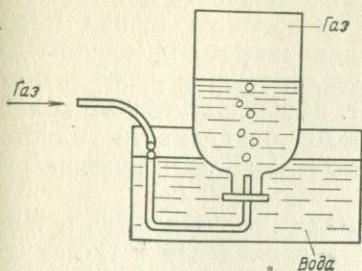


Рис. 46. Наполнение бутылки газом по методу вытеснения воды

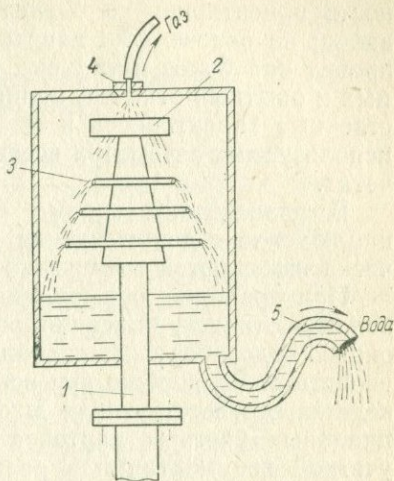


Рис. 47. Газоотделитель.

1 — приемная труба для газо-водяной эмульсии; 2 — сетчатая коробка; 3 — железные пластины, способствующие выделению газа при рассеянии воды; 4 — трубка для выхода газа; 5 — водоотводная трубка

При наличии газо-водяной эмульсии для отделения газа от воды употребляются газоотделители различной конструкции и объема, который изменяется в зависимости от дебита скважины (рис. 47). Через водоотводную трубку 5, форма которой обеспечивает водяной затвор, вода поступает наружу, где и измеряется обычным объемным способом. Газ, скапливающийся в верхней части газоотделителя, выходит через трубку 4, расположенную в верхней части цилиндра, и дебит его измеряется объемным или другим способом. Полученные, таким образом, данные используются для определения объемного соотношения системы газ + вода.

Если вода не фонтанирует, отбор проб для определения газа проводится с помощью глубинных пробоотборников, спускаемых в скважину на глубину опробуемого горизонта. Конструкция пробоотборников и методика работы с ними описаны в специальной литературе [23].

**Провалы бурового инструмента.** При бурении в закарстованных породах (известняках, доломитах, гипсах и т. п.) довольно часто наблюдаются провалы бурового инструмента, что свидетельствует о наличии в подобных породах крупных пустот. Каждый случай провала инструмента нужно отмечать: от какой и до какой глубины инструмент прошел по карстовой пустоте.

**Выход керна и его изучение.** По выходу керна можно ориентировочно судить о водопроницаемости проходя-



мых при бурении пород. Трещиноватые породы, дающие малый выход керна, обычно являются более водоносными. Сопоставление процента выхода керна с результатами наблюдений за уровнем воды и потерями промывочной жидкости дает возможность ориентировочно оценить водоносность различных интервалов; на основе этих данных устанавливаются интервалы для проведения более детальных гидрогеологических работ — пробных и опытных откачек, наливов и т. п., дающих точные количественные характеристики степени водопроницаемости пластов, используемых затем при всевозможных гидрогеологических расчетах.

В разведочных горных выработках ведутся тщательное наблюдение и документация всех водопоявлений и систематически измеряются притоки по мере углубки.

При проходке шурфов, скважин и других выработок, производстве откачек, описании родников, колодцев и эксплуатационных водозаборных скважин, лабораторных исследованиях свойств воды, вообще при всех видах гидрогеологических работ ведется соответствующая документация путем составления специальных учетных карточек и заполнения журналов; формы учетной документации в разных организациях различные.

Наблюдения в действующих или строящихся шахтах и рудниках, расположенных поблизости, имеют весьма существенное значение и в совокупности с данными разведочных работ позволяют более точно охарактеризовать гидрогеологические особенности разведываемого месторождения, особенно при прогнозировании величин будущего водопритока в выработку.

При обследовании шахт выясняются следующие вопросы: общие гидрогеологические условия шахты (характеристика водоносных горизонтов, обводняющих шахту, статические и динамические уровни на разные периоды времени); обводненность горных выработок (приток воды в шахту и по отдельным участкам и горизонтам, его изменения в зависимости от времени года, числа пройденных выработок и их глубины); коэффициент водообильности шахты; способы борьбы с подземными водами (применяемые методы и средства осушения шахтного поля, водопонижающие установки и их характеристика, расположение и конструкция забивных и сквозных фильтров, дренажных колодцев, их расход, положение депрессионных поверхностей во времени, продолжительность работы водопонижающих установок, расчет коэффициента фильтрации по данным водопонижающих скважин); шахтный водоотлив (производительность центрального и участковых водоотливов, количество откачиваемой воды по месяцам); инженерно-геологические свойства горных пород шахты (текучесть, пучение, горное давление, в карьерах — устойчивость откосов, оползневые явления, суффозия и т. п.); физико-химические свойства, химический состав, агрессивность по отношению к бетону и железу, использование шахтных вод.



Описываются также местоположение шахты или карьера, имеющиеся вблизи реки и водоемы и их гидрогеологическая характеристика, принятая система разработок и другие данные о шахте.

#### § 74. Поиски и разведка подземных вод для водоснабжения

В соответствии с требованиями инструкций в отчетах, представляемых в ГКЗ и ТГКЗ для утверждения запасов полезных ископаемых, должны быть также указаны и источники водоснабжения будущих шахт и рабочих поселков при них. Поэтому при организации работ для разведки полезного ископаемого приходится также проводить специальные гидрогеологические исследования для обоснованного решения вопросов водоснабжения будущих горных предприятий.

Объем и характер гидрогеологических исследований для целей водоснабжения зависят от сложности геологического строения; гидрогеологических условий района исследований; потребности в воде; физико-географических условий района; типа подземных вод, намеченных к эксплуатации (грунтовые, артезианские и т. д.); стадии проектирования. Гидрогеологические исследования источников водоснабжения всегда должны проводиться целенаправленно, что обеспечивает высокое качество работ при наименьшей затрате сил и средств.

В результате проведения гидрогеологических работ должны быть с исчерпывающей полнотой соответственно стадии проектирования освещены следующие вопросы (помимо общегеологических): наличие и распространение водоносных горизонтов и условия их залегания, глубина, мощность, водопроницаемость; условия питания и формирования подземных вод района исследований; физические свойства и химический состав источников водоснабжения; количество эксплуатационных запасов с указанием контуров, в пределах которых подсчитаны эти запасы; режим подземных вод в естественных условиях и при эксплуатации; рекомендуемые участки размещения водозаборных сооружений и их тип; необходимые границы зон санитарной охраны; другие гидрогеологические и инженерно-геологические данные, необходимые для проектирования и строительства водозаборных сооружений (обычно для получения этих данных проводятся особые исследования по специальным указаниям проектных организаций).

**Источники водоснабжения.** Источниками водоснабжения могут быть поверхностные воды рек, озер и водохранилищ, а также подземные воды (грунтовые, артезианские, карстовые, трещинные). При выборе и оценке источников воды для водоснабжения к ним предъявляются следующие требования: источники должны давать достаточное количество



воды для покрытия всех нужд водопотребителей; качество воды должно соответствовать ГОСТу для питьевых вод; водозабор должен быть экономически дешевым.

При прочих равных условиях лучшими источниками для водоснабжения являются подземные воды как наиболее ценные по качествам и надежные в санитарном отношении. Лучшими питьевыми водами являются подземные воды, приуроченные к рыхлым осадочным породам; они фильтруются через поры этих пород и благодаря этому обычно очень быстро естественно очищаются. Поэтому, если можно получить в данном месте достаточное количество подземных вод из рыхлых осадочных пород и качество их удовлетворительное, им всегда отдадут предпочтение перед другими источниками подземных вод.

Поиски и разведка подземных вод для водоснабжения проводятся в соответствии с требованиями «Инструкции по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод», утвержденной ГКЗ СССР в 1976 г. Эта инструкция устанавливает единые принципы оценки эксплуатационных запасов подземных вод как для месторождения подземных вод в целом, так и для отдельных водоносных горизонтов или их участков с учетом режима, зависящего от влияния естественных или искусственных факторов. Виды гидрогеологических исследований, объемы работ и методика их проведения могут быть самыми различными, что обуславливается чрезвычайным разнообразием природных условий залегания подземных вод на территории СССР и различными требованиями к количеству и качеству воды со стороны водопотребителей. Поэтому гидрогеологические исследования, как правило, являются комплексом различных видов работ, тесно взаимосвязанных между собой. Для характеристики требований к изучению и разведке подземных вод последние подразделяются на следующие группы: 1) источники; 2) грунтовые и неглубокие (до 50 м) напорные воды; 3) артезианские воды.

Изучение источников осуществляется главным образом путем проведения комплексной геолого-гидрогеологической съемки, разбуривания и расчисток мест выхода источников и режимных наблюдений над дебитом, температурой и химическим составом вод источников. Для районов многолетней мерзлоты съемка должна проводиться в зимнее время. Масштаб съемки определяется стадией исследований (см. § 71) и категорией запасов, представляемых к утверждению (см. § 75).

Изучение грунтовых и неглубоких напорных вод помимо комплексной геолого-гидрогеологической съемки проводится, как правило, с помощью разведочных скважин, расположенных по поперечникам перпендикулярно к потоку подземных вод, а также одиночных или кустовых опытных гидрогеологических скважин, располагаемых на участках, где водообильность пород наибольшая. Из гидрогеологических сква-



жин проводятся опытные и пробно-эксплуатационные откачки; последние проводятся в течение не менее 1—2 месяцев при одном заданном понижении с целью определения устойчивости дебита, химического и газового состава подземных вод.

Изучение артезианских вод в недостаточно изученных районах помимо комплексной съемки проводится с помощью разведочных и гидрогеологических скважин, а в изученных районах — только с помощью гидрогеологических скважин, которые используются затем и как эксплуатационные, почему их называют также *разведочно-эксплуатационными*. Комплексная съемка необходима для складчатых районов и районов со сложными тектоническими условиями и должна проводиться перед закладкой разведочных скважин. В хорошо изученных артезианских бассейнах проведение съемки не обязательно. Подробно виды гидрогеологических исследований, объемы работ и методика их выполнения описываются в многочисленной специальной литературе и методических руководствах.

В результате обработки всех материалов, полученных в процессе проведения поисков и разведки подземных вод для водоснабжения, составляется отчет; форма отчета и перечень приложений к нему указаны в инструкции.

#### § 75. Понятие о методах подсчета запасов подземных вод

Подсчет запасов подземных вод является конечным итогом их разведки. При разведке подземных вод на месторождениях полезных ископаемых подсчет этих запасов необходим для определения притоков воды в горные выработки. При разведке подземных вод для целей водоснабжения подсчет запасов является самостоятельной задачей.

Запасы подземных вод по видам подразделяются на естественные, эксплуатационные и динамические. *Естественные* запасы представляют собой количество подземной воды, находящейся в порах и трещинах водоносного горизонта в спокойном состоянии или движущейся в естественных условиях. Под *эксплуатационными* запасами понимается количество подземных вод в кубических метрах в сутки, которое может быть получено рациональными в технико-экономическом отношении водозаборами в течение всего расчетного срока работы водозабора. Одним из видов естественных запасов являются искусственные запасы подземных вод, которые образуются путем устройства искусственных сооружений, обеспечивающих питание подземных вод за счет атмосферных осадков, поверхностного стока или путем конденсации.

*Динамические* запасы представляют собой расход естественного подземного потока. Величина их определяется количеством



подземных вод, проходящих при естественном уклоне через поперечное сечение водоносного горизонта в единицу времени. Расход естественного подземного потока не остается постоянным и может меняться по сезонам года и в зависимости от литологического состава водоносных горизонтов.

В соответствии с инструкцией ГКЗ запасы подземных вод подразделяются на следующие категории.

Категория  $C_2$  — запасы, установленные на основании общих геолого-гидрогеологических данных, подтвержденных опробованием водоносных горизонтов в отдельных точках. Качество подземных вод определено по пробам, взятым в отдельных точках, либо по аналогии с изученными участками того же горизонта.

Категория  $C_1$  — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение в общих чертах условий залегания и распространения водоносного горизонта по данным пробных откачек из единичных разведочных выработок, а также по аналогии с существующими водозаборами или примыкающими участками, по которым запасы определены по категориям В и А.

Категория В — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение основных особенностей условий залегания, строения и питания водоносных горизонтов; установлена связь подземных вод оцениваемого водоносного горизонта с водами других водоносных горизонтов и поверхностными водами. Качество подземных вод удовлетворяет требованиям водопотребителей. Запасы на участке проектируемого водозабора определены в процессе детальной разведки по данным опытных откачек.

Категория А — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей полное выяснение геологического строения, условий залегания и питания водоносных горизонтов, напоров, фильтрационных свойств, связи используемых вод с водами других водоносных горизонтов и поверхностными водами. Качество вод удовлетворяет требованиям ГОСТа на весь период работы водозабора. Запасы по категории А на участке проектируемого водозабора определены по данным опытных, опытно-эксплуатационных откачек, эксплуатации в период детальной разведки за время опытов или стационарных наблюдений на действующих водозаборах.

Утверждение запасов в ГКЗ по категориям А и В дает право на составление проектов водоснабжения и выделение капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию действующих водозаборов, причем запасы по категории А должны составлять не менее 50% и лишь в отдельных случаях меньше.

Методы подсчета запасов подземных вод различны в зависимости от природных геолого-гидрогеологических особенно-



стей месторождений подземных вод; подробно эти методы изложены в соответствующих руководствах.

Следует отметить, что длительная эксплуатация водоносного горизонта, особенно в рыхлых аллювиальных отложениях, приводит к уплотнению пород и осадке поверхности земли, достигающей нередко 3—4 м. Поэтому при проектировании крупных водозаборов следует прогнозировать возможную осадку территории в сфере влияния водозабора.

### § 76. Гидрогеологические исследования в целях осушения

Задачей осушения является создание на излишне увлажненных территориях условий, обеспечивающих необходимый водный, воздушный и питательный режим почв и грунтов в целях наиболее успешного и экономически рентабельного ведения сельскохозяйственного производства, а также создания благоприятных условий для строительства и последующей эксплуатации различных сооружений.

На поверхности земли заболоченные территории занимают многие сотни миллионов гектаров. На территории СССР переувлажненные земли расположены на площади свыше 200 млн. га (Белорусское и Украинское Полесье, Мещерская и Западно-Сибирская низменности, в Приморском крае, заболоченные массивы Колхиды, Ленкорани и др.).

Для освоения заболоченных земель ЦК КПСС и Совет Министров СССР принимали неоднократно решения по их осушению.

Осушение заболоченных площадей осуществляется различными способами [23].

Выбор наиболее рентабельного для данных конкретных природных условий метода осушения производится по результатам технико-экономических расчетов. Основой для таких расчетов являются материалы гидрогеологических исследований, проводимых на территории, подлежащей осушению.

Главнейшей задачей гидрогеологических исследований является установление основных источников водного питания излишне увлажненных земель и получение гидрогеологических параметров, необходимых для проектирования мелиоративных мероприятий. Целесообразна комплексность гидрогеологических, почвенно-мелиоративных и гидрологических исследований, которые проводятся в соответствии с руководством, утвержденным Министерством водного хозяйства и мелиорации и Министерством геологии СССР в 1971 г. Учитываются и требования действующих инструкций общесоюзного и ведомственного назначения.

Для составления технико-экономического обоснования (ТЭО) проводится комплексная геолого-гидрогеологическая и



почвенная съемка в масштабе 1:200 000, дается прогноз изменения режима подземных вод по территориям, прилегающим к массивам осушения.)

Для разработки технического проекта и рабочих чертежей проводится комплексная геолого-гидрогеологическая и почвенная съемка в масштабе 1:100 000 — 1:10 000 и необходимый для данного масштаба съемки объем разведочных и опытных работ, и при необходимости — гидрогеологические работы. Съемку необходимо сопровождать комплексом наземных геофизических исследований. При гидрогеологических исследованиях для целей орошения и осушения наиболее полезными могут быть следующие геофизические методы.

*Электроразведка* — для определения положения уровня грунтовых вод, оконтуривания линз мерзлых пород в районах островной вечной мерзлоты определения мощности торфа и т. д.

*Метод естественного поля*, позволяющий изучать фильтрационные свойства пород.

*Термометрические исследования*, значительно облегчающие изучение заболоченных районов, способствующие выявлению очагов разгрузки напорных подземных вод и некоторых других явлений.

Программа, объем и методика исследований дифференцируются в зависимости от конкретных природных особенностей и размеров территории, подлежащей осушению. В составляемом по окончании полевых работ отчете дается прогноз режима подземных вод после осуществления рекомендуемых осушительных мероприятий.

## § 77. Гидрогеологические исследования в целях орошения

Орошение — комплексная система взаимодействующих водохозяйственных и агротехнических мероприятий, проводимых в засушливых и полузасушливых районах для эффективного и высокорентабельного ведения сельского хозяйства. В СССР огромные территории в Молдавии, южных районах Украины и РСФСР, в Закавказье, в Среднеазиатских республиках и других районах требуют орошения и обводнения. Урожайность риса, хлопка, зерновых и других культур на поливных площадях значительно выше, чем на непольвных. Например, в Ростовской области урожай озимой пшеницы составляет свыше 70 ц/га вместо 20—30 ц, в Молдавской ССР на орошаемых площадях урожай кукурузы достигает 115 ц/га и выше вместо 40 ц и ниже на неорошаемых. В целом высокая эффективность орошаемого земледелия обуславливает широкое применение в возрастающих масштабах сельскохозяйственной мелиорации.

Гидрогеологические исследования для целей орошения включают съемку, разведочные и опытные работы, изучение режима



баланса грунтовых вод, на основе чего составляются прогнозы режима уровня грунтовых вод и прогнозы режима химического состава вод с целью определения возможного засоления почв. Материалы исследований служат основой при разработке проектов освоения и орошения исследованной территории.

При ведении съемки особое внимание уделяется изучению рельефа, уклона, степени расчлененности рельефа, глубины врезки гидрографической сети, ширины водораздельных пространств и т. д. Геологическое строение на необходимую глубину изучается на основе разведочных геофизических работ. Выработки закладываются по поперечникам, пересекающим различные геоморфологические элементы. Определяется направление движения грунтовых вод. Изучаются водно-физические явления, в частности скорость и высота капиллярного поднятия и фильтрационные свойства грунтов. Коэффициент фильтрации определяется полевыми методами.

Съемка сопровождается проведением необходимых геофизических исследований, подобных тем, которые были охарактеризованы выше при описании гидрогеологических исследований при работах по осушению местности.

По итогам полевых работ составляется серия карт и разрезы. Карты химического состава грунтовых вод являются исходными при проектировании режима орошения поливных культур и промывных (для рассолонения засоленных почв) поливов.

Режимная наблюдательная сеть закладывается до начала эксплуатации оросительной системы. Данные режимных наблюдений используются для построения карт глубин залегания и минерализации грунтовых вод в масштабе не мельче 1 : 25 000 — 1 : 50 000; карты составляются ежегодно и используются для корректировки работ по орошению, в частности, чтобы не допустить засоления поливных земель.

В настоящее время отрасль гидрогеологии, обслуживающая осушение и орошение, выделилась в самостоятельный научный раздел — *мелиоративную гидрогеологию*. Основные положения этой науки и практические рекомендации при проведении гидрогеологических исследований для целей осушения и орошения изложена в «Методическом руководстве по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства» (1972 г.), а также в работах А. Н. Костякова, В. А. Ковда, А. Н. Аскоченского и др.

## § 78. Охрана подземных вод

Подземные воды, используемые для водоснабжения, необходимо предохранять от истощения, загрязнения и заражения. Предохранение от истощения достигается при условии, если



данный водозабор забирает подземную воду в количестве, не превышающем эксплуатационные запасы.

Заражение и загрязнение подземных вод в водозаборе происходит по разным причинам.

Развитие горнодобывающей промышленности, переработка добываемого сырья, орошение все в больших масштабах новых земель, создание водохранилищ, строительство в условиях многолетней мерзлоты, внесение все в большем объеме минеральных удобрений, меры по борьбе с вредителями сельского хозяйства, сброс плохо очищенных промышленных сточных вод, в целом все более возрастающее воздействие человека на природу изменяет ее в худшую сторону, в том числе с каждым годом ухудшается качество подземных вод, увеличивается их загрязнение — химическое, радиоактивное, бактериальное и механическое.

Меры борьбы с загрязнением и истощением подземных вод, являющихся основным источником водоснабжения (свыше 93%), многообразны. В СССР эти мероприятия узаконены. С 1971 г. введены в действие Основы водного законодательства Союза ССР и союзных республик, а с 1975 г. Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах. В этих законах подробно освещаются все мероприятия по очистке сточных вод, загрязнению водных источников, истощению водных ресурсов и т. д. Вблизи источников подземных вод, эксплуатируемых для водоснабжения, устанавливаются зоны *горно-санитарной охраны*, под которыми понимается специально выделенная территория, в пределах которой создается особый режим, исключающий возможность загрязнения и ухудшения качественного состава воды, а также не допускается истощение подземных вод, что может быть обусловлено производством вблизи водозабора горных работ, осушительных мероприятий и т. п. Санитарный режим в зонах охраны устанавливается в зависимости от местных санитарных и гидрогеологических условий.

В СССР для охраны источников водоснабжения законом установлены следующие зоны горно-санитарной охраны с соответствующим режимом.

Первая зона горно-санитарной охраны, или зона строгого режима, охватывает водозаборные сооружения, водопровод и прочие сооружения, расположенные на территории, непосредственно примыкающей к водозабору. Обычно эта зона имеет ограждение и специально охраняется. В пределах зоны запрещается устройство жилых домов и других сооружений, за исключением построек, непосредственно связанных с эксплуатацией подземных вод. Для артезианских вод зона строгого режима устанавливается размером около 0,25 га с радиусом не менее 30 м вокруг скважин, а для грунтовых — около 1 га с радиусом не менее 50 м.

Вторая зона горно-санитарной охраны, или зона ограничений, определяется по результатам санитарно-технического обследования территории, где находится область питания водоносного горизонта и где возможно загрязнение или заражение источника водоснабжения. В пределах второй зоны запрещается устройство свалок, выгребных ям, рытье поглощающих колодцев и т. п. Запрещаются разработки полезных ископаемых с нарушением защитного слоя над водоносным горизонтом, а также, если разработка будет сопровождаться истощением эксплуатируемого водоносного горизонта. Проведение строительных работ должно осуществляться только по согласованию с органами государственного санитарного надзора, которым дано право по необходимости регулировать строительство промышленных и гражданских объектов вплоть до запрещения. Во второй зоне осуществляются постоянный санитарный надзор и лабораторный контроль всех стоков, а также контроль работы сооружений по очистке сточных вод.

Третья зона горно-санитарной охраны, или зона наблюдений, примыкает ко второй; границы этой зоны устанавливаются исходя из характера местности, геологического строения, гидрогеологических условий, характера источника и других условий. В зоне наблюдений никаких ограничений не вводится. Устанавливается только усиленное санитарно-эпидемиологическое наблюдение за распространением инфекционных желудочных заболеваний.

Зоны санитарной охраны утверждаются органами государственной санитарно-технической инспекции (ГСТИ).

## Глава XIV

### ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

#### § 79. Общие сведения

Задачи инженерно-геологических изысканий. Задачей инженерных изысканий для строительства является комплексное изучение природных условий участка строительства для получения необходимых исходных данных, обеспечивающих разработку технически правильных и экономически наиболее целесообразных решений при проектировании и строительстве. Инженерно-геологические изыскания осуществляются в соответствии с техническим заданием, выдаваемым заказчиком (проектной организацией) изыскательской организации, в котором указывается основной состав, детальность, сроки и порядок проведения изысканий.



Инженерно-геологические изыскания должны проводиться в соответствии с требованиями СНиП, государственных стандартов и других нормативных документов по инженерным изысканиям. Результаты инженерно-геологических изысканий должны содержать данные, необходимые для решения вопросов: выбора типа оснований и фундаментов; определения глубины заложения и размеров фундаментов с учетом прогноза возможных изменений инженерно-геологических и гидрогеологических условий; выбора (в случае необходимости) способа мелиорации грунтов основания.

Инженерно-геологические изыскания включают следующие виды работ: 1) инженерно-геологическую съемку; 2) проходку горных выработок — закопшек, расчисток, канав, скважин и шурфов; 3) полевые опытно-исследовательские работы — откочки, пробные нагрузки, зондирование, прессиометрия; 4) стационарные наблюдения; 5) лабораторные исследования; 6) камерную обработку материалов и составление отчета.

Инженерно-геологическая съемка представляет собой комплекс работ по изучению: 1) геологического строения картируемой территории — стратиграфии, тектоники, литологии, почвенного покрова, трещиноватости, степени выветрелости горных пород; геоморфологических особенностей изучаемой площади; 2) гидрогеологических условий территории — наличия водоносных горизонтов, условий их залегания, характера движения подземных вод, их химического состава и т. д.; 3) физико-геологических процессов и явлений; 4) по обследованию существующих в районе съемки сооружений с подробным описанием обнаруженных в них деформаций, с выяснением (по возможности) причин, обусловивших эти деформации, описанием осуществленных профилактических мероприятий и степени их эффективности; 5) по поиску и разведке строительных материалов. По показателям инженерно-геологической съемки дается общая оценка изученной территории с точки зрения возможности использования исследованной площади для строительства проектируемых объектов и обоснования проектов сооружений.

Инженерно-геологическая съемка предшествует другим видам исследований, являясь основой для правильного выбора видов, методики и последовательности проведения разведочных, опытных, лабораторных, стационарных и других работ.

Понятие о геологоразведочных работах. При инженерно-геологических изысканиях геологоразведочные работы являются основным средством разведки изучения грунтов на требуемую глубину. Проходка расчисток, канав, шурфов, шахт, штолен, квершлагов и бурение скважин позволяют детально установить геологическое строение исследуемой территории, наличие подземных вод, отобрать образцы грунтов и пробы воды для лабораторных исследований, провести полевые



опытно-исследовательские работы (откачки, опыты на сжатие грунтов и др.), организовать стационарные наблюдения по режиму подземных вод и т. д. При инженерно-геологических изысканиях разведочные работы занимают первое место по трудоемкости и стоимости в общем комплексе инженерно-геологических исследований. Данные разведочных работ в комплексе с другими исследованиями позволяют оценить грунты как основания сооружений, как среду, в которой будут возводиться те или иные объекты (выемки, тоннели и др.), и как материал для возведения насыпей и подобных сооружений, дают возможность детально разведать месторождения строительных материалов.

**Бурение скважин.** При инженерно-геологических изысканиях для целей строительства основные объемы работ выполняются с помощью бурения, которое менее трудоемко и более экономично по сравнению с горнопроходческими разведочными работами. Буровые работы являются одним из универсальных методов изучения инженерно-геологических условий застраиваемой территории. С помощью бурения скважин возможно вскрытие всех горных пород на любую глубину в самых разнообразных природных условиях, а также проведение различных опытно-исследовательских работ.

Цели, задачи и условия проведения буровых работ, выбор способа бурения, технология бурения, правила отбора образцов грунтов, сведения по организации буровых работ, технологическая классификация буровых скважин, модели буровых станков и их технические характеристики, техника безопасности и другие вопросы подробно излагаются в специальных рекомендациях по производству буровых работ при инженерно-геологических изысканиях для строительства и другой специальной литературе.

**Опытные инженерно-геологические исследования.** Полевые испытания всегда дают более достоверное значение параметров деформируемости и прочности грунтов. Современные методы полевых испытаний свойств грунтов позволяют относительно быстро, с малой затратой времени и материальных средств получать искомые данные, что дает возможность проводить эти исследования во многих точках массива в относительно короткие сроки и обрабатывать результаты методами математической статистики и получать расчетные значения показателей сопротивления грунтов сжатию, сдвигу и др.

Основными видами полевых испытаний грунтов, проводимых при инженерно-геологических исследованиях, являются: опытные гидрогеологические работы; пробные нагрузки в шурфах и скважинах; динамическое и статическое зондирование; определение в скважинах сопротивления грунтов сдвигу;



определение плотности и влажности грунтов при помощи радиоактивных изотопов.

Опытные гидрогеологические работы, проводимые для определения фильтрационных свойств пород, установления направления и скорости движения подземных вод, описаны выше (см. главу XIII), а определение прочностных и деформационных свойств грунтов в § 30.

Стационарные режимные наблюдения при изысканиях. На отдельных участках в период изысканий возникает необходимость в проведении стационарных наблюдений по изучению режима физико-геологических явлений, режима подземных вод, водно-температурного режима многолетнемерзлых грунтов. Надобность в подобных наблюдениях возникает в тех случаях, когда динамика, режим, характер и интенсивность проявления неблагоприятных процессов не могут быть изучены в процессе ведения съемочных и опытно-исследовательских работ с полнотой, позволяющей запроектировать эффективные защитные мероприятия.

Все стационарные наблюдения выполняются по специально разработанной программе, составленной в соответствии с требованиями действующих инструктивных указаний. Наблюдения могут продолжаться в течение от одного года до 2—3 лет и более. На особо неблагоприятных участках (оползневых, проявления сели, карстовых явлений и т. п.) организуются постоянные стационарные режимные станции (общегосударственные или ведомственные).

### **§ 80. Виды и объемы инженерно-геологических изысканий для различных видов строительства**

Как уже отмечалось, виды, объем и характер инженерно-геологических исследований зависят от природных факторов и вида строительства. Применительно к различным видам строительства разработаны ведомственные методические указания и инструкции, которыми и следует руководствоваться при инженерно-геологических исследованиях. Ниже приводятся основные положения об объемах, видах и характере инженерно-геологических исследований при строительстве различных сооружений.

Строительство гражданских и промышленных сооружений. Инженерно-геологические исследования для этого вида строительства проводятся только в две стадии: проектного задания и рабочего проектирования.

Объем исследовательских работ устанавливается в зависимости от степени изученности инженерно-геологических условий района строительства, степени сложности геологического строения площади, сложности (или простоты) гидрогеологических условий, особенностей физико-механических свойств грун-



тов, капитальности сооружений и конструктивных особенностей проектируемых сооружений (мало чувствительных или чувствительных к неравномерным осадкам).

В состав исследовательских работ входят инженерно-геологическая съемка территории, проходка шурфов и бурение скважин, гидрогеологические исследования, полевые и лабораторные исследования свойств грунтов.

Инженерно-геологическая съемка является комплексной и проводится в масштабе 1 : 5000—1 : 25 000, а в сложных геологических условиях — 1 : 1000—1 : 5000.

*На стадии проектного задания* количество выработок назначается в зависимости от сложности инженерно-геологического строения местности и колеблется от пяти выработок (простые условия) до 15 на 1 км створа. Створы закладываются вдоль и поперек к основным геоморфологическим элементам и их должно быть не менее двух. Глубина выработок изменяется в пределах 10—30 м и назначается на месте. Из общего числа выработок 1/5 проходится в виде шурфов или скважин диаметром не менее 127 мм; обычно шурфы проходятся до уровня подземных вод, а ниже бурится скважина, указанного диаметра. Эти выработки именуются техническими и предназначаются для отбора монолитов, которые отбираются из каждой литологической разности проходимых пород.

В случае, когда зеркало грунтовых вод находится выше глубины заложения фундаментов, то из 2—3 специально оборудованных скважин производятся опытные откачки и отбор проб воды на химический анализ.

*На стадии рабочего проектирования* шурфы и скважины проходятся в пределах расположения каждого здания и сооружения и размещаются по контуру сооружений. Расстояния между выработками назначаются исходя из сложности геологическо-литологического строения и колеблются в пределах 100 (простое сложение) — 25 м и менее при частой смене грунтов по вертикали в горизонтальном направлении. Глубина выработок определяется в зависимости от мощности сжимаемой толщи грунтов в основании, что в свою очередь зависит от типа фундамента (ленточный или прямоугольный) и общей величины нагрузки на фундамент и определяется на месте. Минимальная глубина выработок должна быть не менее 6 м. Число технических выработок назначается в зависимости от сложности геологического строения площадки и чувствительности конструкции здания к неравномерным осадкам и должно быть не менее трех для отдельных сооружений. Отбор монолитов из технических выработок проводится (начиная с отметки заложения подошвы фундаментов и на 2—3 м глубже активной зоны) для каждой литологической разности, но не реже чем через 1 м по глубине. Для пласта однородного грунта большой



мощности (свыше 3 м) допускается отбор трех монолитов (из кровли, середины и подошвы пласта).

Полевые исследования механических свойств грунтов проводятся статической (пробной) нагрузкой, лопастными установками и зондированием, которые выполняются в пределах расположения наиболее ответственных сооружений по специальному указанию проектирующей организации. Испытанию подвергается каждая литологическая разность грунтов в пределах сжимаемой толщи.

Лабораторные исследования грунтов проводятся в целях расчленения толщи пройденных грунтов по классификации, приведенной в СНиПе II 15—74, и для получения исходных данных, используемых при расчетах фундаментов и оснований сооружений.

Лабораторные исследования физико-механических свойств грунтов проводятся по методике и с соблюдением условий, предусмотренных ГОСТом, что подробно излагается в руководствах по исследованию физико-механических свойств грунтов [27].

На основании материалов всех исследований составляется инженерно-геологический отчет по форме, принятой в геологоразведочных организациях. В отчете особо детально описываются геологическое строение и гидрогеологические условия площадки; физико-механические свойства грунтов площадки; выводы и рекомендации по улучшению свойств грунтов в случае, если их природные свойства не отвечают требованиям строительства в части обеспечения устойчивости зданий и сооружений.

Подробно методика инженерно-геологических изысканий для целей гражданского и промышленного строительства изложена в многочисленной специальной литературе [12, 13, 24].

Строительство карьеров. Современная техника позволяет вести горные работы открытым способом на глубинах 100—200 м и более.

При ведении работ открытым способом в настоящее время применяют очень сложные тяжелые высокопроизводительные землеройные и транспортирующие механизмы: шагающие, многоковшовые и роторные экскаваторы, транспортно-отвалы, мосты и пр. Применение сложной техники в карьерах требует проведения специальных дополнительных исследований на участках, где возможна разработка полезных ископаемых открытым способом.

При ведении работ открытым способом на значительных глубинах первостепенное значение приобретает вопрос устойчивости бортов карьеров; неправильный выбор угла рабочего откоса  $\beta$  или высоты рабочего уступа  $h$  (рис. 48) в сторону их завышения влечет за собой деформации последних преимущественно в виде обвалов и оползневых процессов, что нарушает

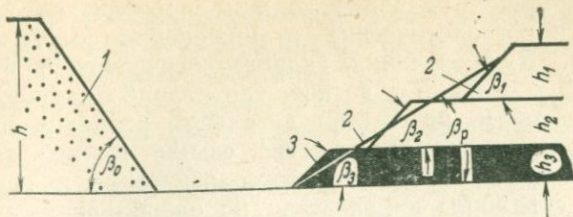


Рис. 48. Схема угольного разреза и его элементы:  
 $\beta_p$  — угол борта;  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  — углы откосов рабочих уступов;  
 $\beta_0$  — угол откоса отвала;  $h_1, h_2, h_3$  — высота рабочих уступов;  $h$  — высота отвала; 1 — внутренний отвал; 2 — рабочие уступы; 3 — выемочный уступ

бесперебойную ритмичную работу карьеров; занижение угла откоса уступов создает неудобства для работы землеройных машин и уменьшает количество вскрытых и подготовленных к выемке запасов на конец вскрышного сезона.

Устойчивость бортов карьеров зависит от многих факторов, действующих в совокупности и взаимосвязи, главнейшими из которых являются: 1) природные: геологические условия (состав, структура, текстура, трещиноватость и условия залегания пород); гидрогеологические условия и особенно возможность проявления в откосах процессов суффозии; физико-механические свойства пород вскрыши и их изменения во времени (набухание, переход в пластичное состояние при определенных постоянных напряжениях, разуплотнение пород в откосах и др.); 2) технические: углы откоса рабочих уступов и их высота, глубина разработки, определяющая угол погашения борта карьера; размеры рабочих площадок (берм), по которым передвигаются экскаваторы и опоры транспортно-отвальных мостов; условия технологического размещения горно-транспортного оборудования на уступах.

Знание геологических и гидрогеологических особенностей конкретных месторождений и физико-механических свойств пород вскрыши позволяет предвидеть влияние перечисленных природных и искусственных факторов и заранее предпринимать соответствующие профилактические мероприятия, предотвращающие возможность проявления тех или иных деформаций рабочих уступов [7, 24, 25].

Инженерно-геологические исследования проводятся совместно с геологоразведочными работами. На стадии поисков и предварительной разведки специальные гидрогеологические и инженерно-геологические исследования обычно не проводятся; инженерно-геологическая характеристика разведываемого месторождения дается исходя из общегеологических данных, а также по аналогии с действующими карьерами (при их наличии).



При детальной разведке должны проводиться также специальные гидрогеологические и инженерно-геологические исследования. Для изучения гидрогеологических и инженерно-геологических условий участков, где разработка возможна открытым способом, на стадии детальной разведки при общей площади разведываемого участка свыше 10 км<sup>2</sup> закладываются опытные одиночные гидрогеологические и гидронаблюдательные скважины из расчета по одной скважине на 2—3 км<sup>2</sup> разведываемой площади на каждый водоносный горизонт; при меньшей площади участка число гидронаблюдательных и гидрогеологических скважин должно быть не менее двух на каждый водоносный горизонт. Скважины следует закладывать равномерно по всей разведываемой площади, но с непрерывным учетом гипсометрии водоупорного ложа и степени водопроницаемости водоносных горизонтов. Скважины следует закладывать там, где отметки ложа наименьшие, а также где по геологическим предпосылкам водопроницаемость их будет большей.

Гидрогеологические и гидронаблюдательные скважины служат и для целей инженерно-геологического изучения исследуемой площади, для чего в них отбираются монолиты и образцы с нарушенной структурой из всех проходимых пород. Отбираются также пробы воды перед началом откачки и в конце нее при третьем понижении для определения физических свойств и химического состава подземных вод.

Опытные откачки проводятся из одиночных опытных гидрогеологических скважин при трех понижениях: для определения коэффициента фильтрации понижения задаются небольшими (1, 2, 3 м), чтобы в какой-то степени устранить отрицательное влияние «скачка» при расчете коэффициента фильтрации.

Инженерно-геологическая характеристика площади детальной разведки дается по показателям физико-механических свойств пород, определяемых в лаборатории на монолитах и образцах с нарушенной структурой. Для определения физико-механических свойств пород в гидрогеологических скважинах на подрудный (или подугольный) водоносный горизонт из всех литологических разностей связных пород грунтоносом отбираются монолиты, а из несвязных пород — образцы с нарушенной структурой; монолиты отбираются диаметром не менее 100 мм и высотой 100—150 мм. Порядок отбора монолитов и образцов с нарушенной структурой следующий: при мощности пласта до 2 м отбирается один монолит (или образец с нарушенной структурой), более 5 м — через каждые 2—3 м. В отобранных монолитах связных пород в лаборатории определяются следующие показатели свойств грунтов: гранулометрический состав, плотность и объемная масса, влажность, пределы пластичности, набухание, сопротивление сжатию и сдвигу, а также выборочно (на четырех-пяти образцах из каждой раз-



ности на всю разведываемую площадь) минеральный состав и коллоидно-химические свойства (емкость обмена и обменные катионы). В образцах несвязных пород определяются: гранулометрический состав, водоотдача, высота капиллярного поднятия, коэффициент фильтрации, угол откоса (в сухом состоянии и под водой).

Помимо монолитов и образцов с нарушенной структурой, отбираемых из гидрогеологических скважин, образцы с нарушенной структурой отбираются также из разведочных скважин через каждые 2 м проходки по обводненным пескам; масса каждого образца около 1 кг. Образцы песков отбираются примерно из 10% от общего количества разведочных скважин равномерно со всей разведываемой площади; в лабораторных условиях на образцах определяются гранулометрический состав и коэффициент фильтрации.

Данные, полученные при проведении детальной разведки, являются основными для проектирования карьера на стадии проектного задания. Используя результаты детальной разведки, проектная организация намечает расположение выездной и разрезной траншей, устанавливает (на основе соответствующих расчетов) углы рабочих откосов и их высоту, определяет наивыгоднейший угол всего рабочего борта карьера, обосновывает виды и объем дренажных мероприятий, а также решает все другие вопросы, связанные со строительством карьера и зависящие от геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических особенностей месторождения.

Когда определится местоположение выездной и разрезной траншей, дренажных шахт и направление дренажных штреков, приступают к следующей стадии разведочных работ — *доразведке*, проводимой на площадях разрезной траншеи и первых трех лет работы карьера. Основными задачами доразведки являются: уточнение гидрогеологического строения в пределах доразведываемой площади, гидрогеологических и инженерно-геологических условий строительства выездной и особенно разрезной траншей, геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических данных по направлениям осей дренажных штреков, что необходимо для устройства водосборников, камер для установки насосов, выбора мест для устройства трубчатых водопонижающих колодцев и т. п. Данные доразведки используются проектной организацией для составления рабочего проекта строительства карьера.

При доразведке бурятся также специальные инженерно-геологические скважины, которые закладываются в следующем порядке: по осям выездной и разрезной траншей — через 100 м, по бортам траншей — через 300 м. Само собой разумеется, что инженерно-геологические скважины совмещаются с разведочными, заменяя их. В инженерно-геологических скважинах монолиты и образцы с нарушенной структурой отбираются в та-



ком же порядке, как и при ведении работ на стадии детальной разведки; виды лабораторных исследований свойств грунтов такие же. Глубина инженерно-геологических скважин на площадке выездной траншеи устанавливается с расчетом, чтобы забой скважины был на 10 м ниже основания траншеи (с учетом уклона последней), на остальной площади на 10 м ниже почвы полезного ископаемого. Учитывая, что диаметр монолитов должен быть не менее 100 мм, инженерно-геологические скважины бурятся вращательным способом диаметром 5"; монолиты отбираются при помощи грунтоносов специальной конструкции, описанных в руководствах [24].

Опытные гидрогеологические скважины, обычно кустовые на каждый в отдельности водоносный горизонт, закладываются в местах строительства дренажных шахт и вентиляционных шурфов. В скважинах, устраиваемых на подрудный водоносный горизонт, отбираются монолиты и образцы с нарушенной структурой (из песчаных разностей) в указанном порядке для определения физико-механических свойств пород, перечень которых также приведен.

Строительство гидротехнических сооружений (имеются в виду плотины) к инженерно-геологическим исследованиям предъявляются наиболее сложные и ответственные требования, что обуславливается следующими причинами: эти сооружения резко изменяют гидрогеологические и инженерно-геологические условия на значительной площади, прилегающей к созданному водохранилищу; возводятся плотины и прочие сооружения при них в наиболее неблагоприятных природных условиях; сами сооружения весьма дорогостоящие; характер взаимодействия сооружений с природными условиями крайне сложный. Указанные факторы обуславливают то, что инженерно-геологические исследования при строительстве гидроэнергетических узлов в свою очередь весьма сложны и обычно включают все виды работ, применяемых при инженерно-геологических исследованиях.

Дорожное строительство. Инженерно-геологические исследования при изысканиях железных дорог проводятся с целью получения исходных данных для проектирования земляного полотна, искусственных сооружений, устройств электрификации и связи, рабочих поселков, промышленных сооружений, станционных узлов, водоснабжения и канализации, карьеров ископаемых строительных материалов. Эти данные необходимы для выбора оптимального положения на местности трассы земляного полотна и других сооружений и их целесообразных конструкций.

Виды работ, их содержание, объем и методика выполнения зависят от наличия геологических и инженерно-геологических материалов предшествующих исследований, степени



сложности природных условий, характера и назначения проектируемого объекта, конструктивных особенностей проектируемых сооружений. В наибольшем объеме и различные по виду геологоразведочные работы предусматриваются при проведении инженерно-геологических исследований в слабо изученных районах со сложными природными условиями.

Инженерно-геологические исследования выполняются в соответствии с заранее разработанной программой, составленной на основе технического задания, выдаваемого главным инженером проекта, и утверждаемой руководством проектно-изыскательской организации. Программу работ составляют в соответствии со стадией проектирования и в увязке с частными техническими заданиями на выполнение исследований по разделам проекта (земляного полотна, искусственных сооружений, станций и узлов, электрификации, водоснабжения и др.). Программа исследований уточняется, корректируется и дополняется в процессе ее выполнения. Необходимость подобной корректировки возникает при появлении новых вариантов трассы; выявившихся несоответствиях природных условий на отдельных участках трассы предполагавшимся, что невозможно было учесть по имевшимся материалам, положенным в основу составления программы; при изменении принципиальных положений по размещению и конструкциям проектируемых сооружений; при появлении новых объектов проектирования.

При ведении полевых работ необходимы: тесный повседневный деловой контакт и непрерывная связь между геологической, топогеодезической и проектной группами изыскательской экспедиции, постоянное взаимодействие и взаимопонимание геологов и проектировщиков, повседневная увязка данных инженерно-геологических исследований с данными топогеодезических и трассировочных работ.

В сложных инженерно-геологических условиях инженер-геолог обязан опережать изыскателя-проектировщика с тем, чтобы вовремя указать на необходимость обхода оползневого, скально-обвального, лавиноопасного участков, движущейся осыпи и т. п.

На стадии технико-экономического обоснования (ТЭО) полевые инженерно-геологические работы, как правило, не проводятся. Геологи привлекаются к работе по сбору, систематизации и обобщению имеющихся архивных и опубликованных материалов по району предстоящих исследований и к камеральной обработке по инженерно-геологическому дешифрированию аэрофотоснимков.

Лишь в редких случаях при наличии сложных инженерно-геологических условий на отдельных участках трассы, намечаемой к строительству дороги, или где намечается проектирование ответственных сооружений (крупных мостовых переходов



дов, тоннелей), проводятся полевые рекогносцировочные исследования. Рекогносцировка заключается в аэровизуальных обследованиях, наземной маршрутной инженерно-геологической съемке в масштабе 1:100 000—1:50 000 и полевом дешифрировании материалов аэрофотосъемки.

На стадии проектного задания исследования выполняются в два этапа: 1) для выбора вариантов трассы; 2) по окончательно установленному варианту трассы.

На первом этапе в задачу исследований входит обоснование выбора варианта по территории с наиболее хорошими инженерно-геологическими условиями и в то же время благоприятными по строительной стоимости эксплуатационными расходами и другими показателями. Основные виды исследований для выбора варианта трассы — аэросъемка, маршрутные и площадные инженерно-геологические съемки в масштабе 1:25 000 в полосе шириной 0,3—0,5 км, а на равнинной местности при простых инженерно-геологических условиях — 1:50 000. Разведочные, геофизические, опытно-исследовательские работы проводят только на отдельных участках (в местах индивидуального проектирования, размещения ответственных сооружений) и в относительно небольших объемах.

На отдельных неблагоприятных участках (оползневых и т. п.), а также на больших и средних мостовых переходах и в местах проектирования тоннелей инженерно-геологическая съемка проводится в масштабе 1:10 000—1:5 000; на мостовых переходах съемкой охватывают полосу шириной 300 м вверх и 200 м вниз по течению реки от оси трассы.

По полученным данным дается инженерно-геологическая оценка конкурирующих вариантов трассы и окончательно устанавливается оптимально благоприятная трасса дороги.

По выбранной трассе в полосе шириной 300 м выполняются инженерно-геологическая съемка в масштабе 1:10 000, поиски и разведка месторождений ископаемых строительных материалов. На отдельных участках с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями ширину полосы съемки увеличивают до 0,5—1 км и более в целях детального выяснения степени опасности имеющихся физико-геологических явлений для проектируемых объектов.

В том случае, если будет установлена непосредственная опасность со стороны того или иного физико-геологического явления, участок изучается как объект индивидуального проектирования. В таких местах проводят инженерно-геологическую съемку в масштабе 1:5 000—1:500 в зависимости от особенностей инженерно-геологических условий обследуемого участка, степени их возможного влияния на проектируемые объекты, рода и размеров сооружения. Лавиноопасные склоны, области питания и зоны транзита селевых масс, осыпей, курумов, обвалов, камнепадов, поглощения и разгрузки карстовых



вод, перевезаемых незакрепленных песков картируют в масштабе 1 : 25 000—1 : 50 000.

Разведочные, геофизические и опытно-исследовательские работы выполняют в местах размещения конкретных проектируемых сооружений: насыпей, выемок, водоотводов, дренажей, земляных карьеров и др. На объем разведочных работ и их содержание влияют многие факторы: геоморфология, сложность геологических и гидрогеологических условий, род и размеры проектируемых сооружений и др.

Инженерно-геологические исследования на стадии рабочего проектирования проводятся в дополнение к исследованиям предшествующей стадии и приурочиваются к конкретным местам индивидуального проектирования земляного полотна, искусственных сооружений, станционных и производственных сооружений, мостовых устоев, опор линий электропередач и других железнодорожных устройств. Для составления рабочих чертежей проводятся исследования всех видов, но значительно ограничивается роль инженерно-геологической съемки и возрастает объем лабораторных и полевых опытно-исследовательских работ. На этой стадии выполняются большинство опытных откачек, пробных нагрузок в шурфах и скважинах, испытаний грунтов динамическим и статическим зондированием, лопастными установками. На этой стадии продолжают стационарные наблюдения за режимом подземных вод, динамикой оползневых и других физико-геологических явлений, деформациями сооружений, эффективностью укрепительных сооружений, мерзлотными процессами и другие наблюдения, начатые при изысканиях на стадии проектного задания.

Инженерно-геологические исследования на стадии рабочего проектирования проводятся в таком объеме, чтобы обеспечить: полноценное проектирование и окончательное конструктивное оформление противодеформационных сооружений на участках с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями, которые обеспечат устойчивость земляного полотна; уточнение принятых в проектом задании конструкций, отметок и способов устройств оснований опор мостов; уточнение принятых в проектом задании способов проходки и конструкций крепления тоннелей; уточнение типов и конструкций фундаментов служебных и жилых зданий, устройств водоснабжения и других сооружений на станциях и промплощадках.

### § 81. Отчетные материалы об инженерно-геологических изысканиях

Полевая документация. При ведении инженерно-геологической съемки, проведении горнопроходческих выработок, бурении скважин, производстве полевых опытно-исследо-



вательских работ необходимо все, что делается в поле, тщательно документировать, так как полевые документы являются основными материалами при составлении различных карт, разрезов, колонок, графиков и прочих графических приложений, служащих для составления отчетов о проведенных работах, в которых дается исчерпывающая инженерно-геологическая характеристика исследованной территории и приводятся соответствующие рекомендации, направленные на улучшение условий строительства и эксплуатацию проектируемых сооружений. Чем тщательней выполнена геологическая документация, тем ценнее первичные данные, тем глубже и объективнее будет охарактеризована вся площадь изысканий.

При ведении инженерно-геологической съемки основным полевым документом является полевой дневник, в котором систематически описываются и зарисовываются все наблюдаемые объекты; зарисовки часто делаются в отдельном альбоме под номером, соответствующим номеру объекта, описанного в дневнике. Запись и зарисовки производят простым графитовым карандашом, что исключает возможность расплывания при случайном увлажнении этих документов, а также обесцвечивании при их последующей камеральной обработке и хранении.

Отбор образцов пород. Для лабораторного определения физико-механических свойств грунтов требуются образцы с нарушенной и ненарушенной структурой. Отбор образцов с нарушенной структурой никаких трудностей не вызывает. Поскольку на образцах нарушенной структуры определяется ряд показателей свойств грунтов (гранулометрический и минеральный состав, плотность, пластичность и др.), то объем отбираемых образцов грунтов по ГОСТу 12071—72 должен быть не менее: скальных и крупнообломочных — 2000 см<sup>3</sup>, песчаных — 1000 см<sup>3</sup>, глинистых — 500 см<sup>3</sup>.

Для определения объемного веса образец грунта с ненарушенной структурой в соответствии с ГОСТом 5181—64 отбирается методом режущего кольца.

Для определения показателей, характеризующих деформационные и прочностные свойства грунтов, отбираются образцы с ненарушенной структурой в соответствии с требованиями ГОСТа 12071—72.

Камеральная обработка материалов изысканий. В процессе камеральной обработки полевых материалов составляются следующие документы: инженерно-геологические карты нужного масштаба (соответственно стадии проектирования этих объектов); продольные и поперечные инженерно-геологические профили; колонки отдельных разведочных выработок; табличные и графические данные о проведенных опытно-исследовательских работах (откачках, испытаниях грунтов штампами, зондированием и т. п.); данные лабораторных

исследований физико-механических свойств грунтов и воды в виде таблиц и графиков; данные стационарных наблюдений (если они проводились).

Образцы инженерно-геологических карт, разрезов и таблиц и методика их составления описаны в специальных руководствах [13, 24].

Результаты инженерно-геологических изысканий излагаются в отчетах, который состоит из следующих разделов:

1) введение — название и местоположение намечаемого к строительству объекта, по заказу какой проектной организации выполнялись инженерно-геологические изыскания, плановые и фактические сроки их выполнения, плановая и фактическая стоимость, состав исполнителей;

2) краткое физико-географическое описание территории, на которой размещена стройплощадка проектируемых сооружений, с характеристикой физико-геологических процессов и явлений, которые необходимо учитывать при проектировании, строительстве и эксплуатации объекта;

3) обоснование выделенных разновидностей грунтов и характеристика их физико-механических свойств с изложением метода выбора обобщенных и расчетных показателей этих свойств;

4) описание гидрогеологических особенностей стройплощадки, возможное влияние подземных вод на строительство и в дальнейшем на эксплуатацию построенного объекта;

5) прогноз изменения инженерно-геологических условий среды под воздействием проектируемого объекта и рекомендации проектировщикам необходимых защитных мероприятий, осуществление которых в процессе строительства и эксплуатации построенного объекта будет обеспечивать его устойчивое состояние.

К отчету прилагаются инженерно-геологические карты и разрезы, карты-срезы на отметках заложения подошвы фундаментов и при необходимости на других отметках, сводные таблицы физико-механических свойств грунтов, залегающих на стройплощадке, и таблицы физических свойств и химического состава подземных вод.

## Глава XV

# ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И КОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

## § 82. Геофизические методы

При гидрогеологических и инженерно-геологических изысканиях геофизические методы получают все большее распро-



странение. Геофизические методы построены на интерпретации показателей свойств горных пород, влияющих на распределение в толще пород различных физических полей. Последние подразделяются на пассивные и активные. Первые существуют или возникают независимо от деятельности человека; к ним относятся: гравитационное, тепловое и магнитное поля Земли, электрические поля, поле упругих колебаний, возникающих в земной коре от морских волн, циклонов, землетрясений, поле радиоактивного излучения. Активные поля искусственно создаются при геофизических исследованиях.

По характеру полей все геофизические методы подразделяются на: гравиметрические; магнитометрические; сейсмометрические; термометрические; ядерные; электрометрические. Одним из достоинств геофизических методов является возможность выявления и изучения геологического разреза на расстоянии и на глубину от первых метров до десятков километров. Но следует всегда помнить, что геофизические методы не заменяют гидрогеологические и инженерно-геологические методы, а в комплексе с ними содействуют более быстрому, глубокому и эффективному познанию изучаемой территории. Наибольший эффект дает применение геофизических методов при съемках в мелком и среднем масштабах.

Гравиметрические методы используют распределение силы тяжести и позволяют определять различия в плотности пород. Используются в основном для выявления погребенных структур. При гидрогеологических и инженерно-геологических изысканиях эти методы почти не используются.

Магнитометрические методы основаны на определении аномалии магнитного поля обусловливаемых различной магнитной проницаемостью горных пород. Метод широко применяется при геологическом картировании с целью выявления и прослеживания подземных структур, погребенных русел рек и долин и т. д. Является наиболее дешевым и быстрым из всех геофизических методов.

Сейсмометрические методы основаны на различиях в скорости распространения упругих колебаний в толще горных пород, источником которых служат искусственные взрывы в скважинах или на поверхности. Наблюдения за распространением упругих колебаний производят с помощью *сейсмографов*. В практике гидрогеологических и инженерно-геологических изысканий применяются портативные переносные одноканальные сейсмические установки. С помощью микросеймики результативно и экономично определяют глубину залегания скальных пород и многолетнемерзлых грунтов, мощность коры выветривания, уровень грунтовых вод, упругие константы пород, степень трещиноватости скальных пород и направление трещин.



Термометрические методы основаны на изучении естественных температурных полей, различия которых обуславливаются и характеризуются теплопроводностью, теплоемкостью и температуропроводностью горных пород; эти характеристики пород изменяются под влиянием подземных вод. Поэтому термометрические методы применяются при гидрогеологических исследованиях и дают возможность корректировать геологические разрезы. В качестве термочувствительных приборов применяются термопары. Достоинством термометрических методов является простота и надежность действия измерительных устройств.

Электрометрические методы получили наибольшее применение при гидрогеологических и инженерно-геологических изысканиях. Сущность электроразведки заключается в том, что на поверхности земли или в скважине изучаются электрические поля естественного или искусственного происхождения. Различным породам присуще различное сопротивление проходящему через них электротоку. В настоящее время основными методами инженерной электроразведки являются: вертикальное электрическое зондирование; электрическое профилирование; электрический каротаж.

*Вертикальное электрическое зондирование* — ВЭЗ. Применяется для изучения вертикального геологического разреза в данной точке. Существует несколько модификаций этого метода, основная из них — двухполюсное симметричное зондирование, обычно обозначаемое шифром «ВЭЗ». Элементы геологического строения определяются изучением электрического сопротивления пород прохождению через них постоянного электротока (в Ом/м). Различают два вида сопротивления — удельное и кажущееся.

*Под удельным сопротивлением* понимают сопротивление пород определенного литологического состава — песков с пресной водой, песков с минерализованной водой, сухих глинистых пород и т. п. *Кажущееся сопротивление* — это сопротивление комплекса пород различного литологического состава, что преимущественно в природе и приходится измерять. При работе по методу сопротивлений применяется четырехэлектродная симметричная установка (рис. 49). Через электроды *A* и *B* ток от сухой батареи *E* вводится в землю, а при помощи электродов *M* и *N* снимается разность потенциалов; все электроды расположены симметрично относительно точки *O*, называемой центром установки. В качестве измерительного прибора служит специальный электроразведочный *потенциометр*. Прибор и батарея соединяются с электродами посредством изолированных проводов.

Для определения геологического разреза в данной точке расстояния между электродами *A* и *B* последовательно увеличиваются после каждого замера, что обуславливает проникно-



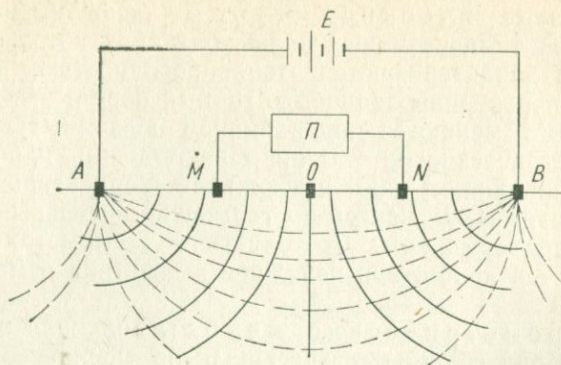


Рис. 49. Схема вертикального электрического зондирования (ВЭЗ).

*A, B, M, N* — электроды; *E* — источник энергии; *P* — регистрирующий прибор; пунктирными линиями показана схема распространения линий тока, сплошными — эквипотенциальные линии; *O* — центр установки

вения электротока на все большие глубины. По мере увеличения глубины проникания электротока будет определяться величина кажущегося сопротивления литологически разнородной толщи пород на искомую глубину. Результаты электрозондирования изображаются в системе прямоугольных координат; на оси абсцисс откладываются расстояния между электродами *A* и *B*, а по оси ординат — величина кажущегося сопротивления. Вид кривой изменения кажущегося сопротивления определяется геологическим строением в данной точке. Интерпретация этой кривой и позволяет установить геоэлектрический разрез изучаемого участка. Интерпретация кривых ВЭЗ осуществляется различными методами, которые излагаются в специальной литературе. Расстояния между электродами, так называемые *разносы*, обычно составляют от нескольких метров до 100—150 м и больше (увеличиваясь с ростом глубины исследования).

При электрозондировании для изучения зон трещиноватости и закарстованности пород применяют *круговое зондирование*; при одном и том же положении центра установки электроды *A* и *B*, при различных разносах устанавливаются в разных направлениях как минимум — в четырех.

Число точек ВЭЗ устанавливается в зависимости от степени сложности геологического строения, геоморфологии картируемой территории, наличия физико-геологических процессов и явлений, а также стадии проектирования.

*Электропрофилирование.* Сущность электропрофилирования заключается в том, что кажущееся сопротивление измеряется при помощи установки с постоянными расстояниями между электродами *A, B* и *M* (см. рис. 49); установка перемещается

вдоль заданного профиля. Откладывая по оси абсцисс в определенном масштабе длину профиля, а по оси координат полученные значения кажущегося сопротивления, получаем кривую электропрофиля, интерпретация которой позволяет построить геологический разрез по линии профиля на заранее заданную глубину. Электропрофилирование позволяет определить по трассе вертикальные контакты, положение круто падающих слоев, интенсивность трещиноватости в пределах заданной глубины, а также водонасыщенные участки и др.

*Электрический каротаж* применяется для определения геологического разреза в необсаженной части пробуренной скважины. Суть каротажа в следующем. В скважину опускают трехэлектродную установку *AMN* (рис. 50), а четвертый электрод *B* забивают на поверхности, пренебрегая его влиянием на измерительные приборы. Поднимая установку вверх и периодически или непрерывно

измеряя сопротивление, получают кривую сопротивления по стволу скважины. Интерпретация кривой сопротивления позволяет определить характер пород, пройденных скважиной, и построить геологический разрез.

При вскрытии скважиной водоносного горизонта его опробование производится методом *повторных боковых каротажных зондирований* — (ПБКЗ), что дает возможность определить дебит скважины при некотором понижении уровня воды в скважине и статический уровень. Метод ПБКЗ может быть использован для изучения всех водоносных горизонтов, пройденных скважиной.

Электрический каротаж скважин, как правило, дополняется радиоактивным гамма-каротажем (ГК) и нейтронным гамма-каротажем (НГК).

*Гамма-каротаж* основан на изучении горных пород по данным измерения естественной радиоактивности, возникающей при распаде радиоактивных элементов, рассеянных в породах. Концентрация этих элементов чрезвычайно мала, но при помощи особо чувствительных приборов поддается измерению. Интен-

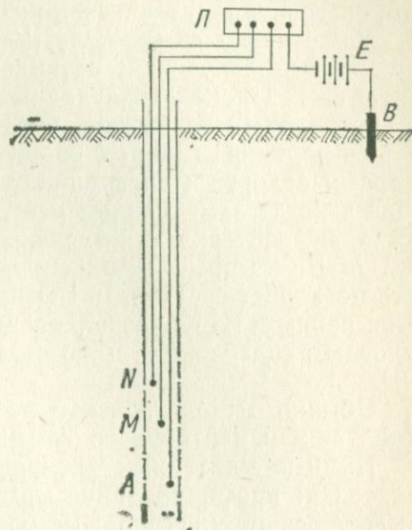


Рис. 50. Схема электрокаротажной установки.

*A, M, B, N* — электроды; *E* — источник энергии; *П* — регистрирующий прибор



сивность гамма-излучения вдоль ствола скважины изображается в виде кривой, называемой гамма-каротажной. Величина естественной радиоактивности находится в прямой зависимости от содержания в породе тонкодисперсного глинистого материала, что дает возможность, пользуясь эталонными данными, составить геологический разрез скважины.

*Нейтронный гамма-каротаж* основан на измерении вторичного гамма-излучения, возникающего в породах в результате захвата нейтронов (излучаемых датчиком, опускаемым в скважину) ядрами элементов, входящих в состав породы. Вследствие наличия в порах пород воды нейтроны, сталкиваясь с ядрами водорода, превращаются в замедленные, или тепловые. При захвате замедленных нейтронов ядром водорода образуются ядра дейтерия с выделением гамма-кванта с энергией 2,2 МэВ, которые и фиксируются специальными счетчиками, что позволяет составлять соответствующие кривые. Интерпретация кривых НГК позволяет выделить породы малопористые плотные, содержащие мало воды, и пористые, сильно увлажненные.

Обычно о геологическом разрезе судят по данным электрокаротажа и нейтронного гамма-каротажа в их сопоставлении.

Помимо указанных внедряются и другие методы электрокаротажа: профилирование методом двух составляющих, метод вызванных потенциалов, метод радиоволнового зондирования.

### § 83. Космические методы

Одним из наиболее эффективных средств современных геологических исследований является комплекс дистанционных методов (аэро- и космодальность, съемка в инфракрасной зоне, радиотепловая, радарная и др.). Для гидрогеологических и инженерно-геологических целей наиболее широко применены фотографические материалы, получаемые при самолетных и космических съемках Земли. Эти материалы используются при изучении условий формирования и закономерностей распределения подземных вод, при изучении экзогенных процессов, при гидрогеологическом и инженерно-геологическом картировании. Опыт применения дистанционных методов (снимки получались с высоты десятков и свыше 20 000 км, в масштабе до 1 : 1 000 000 и менее 1 : 10 000 000) освещен в многочисленной литературе и обобщен в работе Е. А. Востоковой и др. (1975 г.).

Наиболее существенным отличием материалов мелкоаэро- и космосъемки от фотосъемки средних и крупных масштабов является их высокая обзорность и генерализация изображения мелких деталей. На таких снимках отчетливо выявляются крупнейшие разрывные структуры и целостные природные комплексы.



В основе применения дистанционных методов в гидрогеологии и инженерной геологии лежат тесные внутриландшафтные связи между изучаемыми параметрами и физиономичными компонентами ландшафта, получающими на материалах аэро-, космосъемки непосредственное выражение. Ландшафт — единый природно-территориальный комплекс, отдельные компоненты которого (климат, рельеф, почва, горные породы, растительность, физико-геологические процессы и др.) тесно связаны и взаимообусловлены.

Применяемые ныне методы дешифрировки аэро-, космоснимков позволяют производить гидрогеологическое районирование, определять глубину залегания грунтовых вод, степень их минерализации, области их формирования и разгрузки, характер гидрохимических изменений по пути движения грунтовых потоков, некоторые элементы их динамики, изучать водный баланс, режим и ресурсы подземных вод, их искусственное восполнение, намечать пути охраны от непроемчивых расходов и загрязнения, выделять артезианские структуры, структуры распространения трещинно-жилых, карстовых и карсто-трещинных вод. В любом случае количественные данные о подземных водах могут быть получены только путем наземных исследований, проводимых в комплексе с дистанционными методами, которые существенно облегчают и удешевляют наземные работы.

В инженерной геологии аэро- и космические съемки находят применение для решения следующих задач: выделения геологических формаций, изучения общих закономерностей формирования и распространения определенных сочетаний горных пород с учетом структурно-тектонических условий и истории геологического развития территории; выделения геолого-генетических комплексов горных пород; изучения состава и сочетания различных петрографических типов. Наиболее широко материалы аэро-, космосъемки используются при инженерно-геологических изысканиях при дорожном строительстве, при проведении мелиоративных мероприятий, при изучении физико-геологических процессов (осыпей, обвалов, оползней, селей, абразии, дефляции, заболачиваний, неотектонических движений), для градостроительства (выбор места для планировки), для изучения инженерно-геологических антропогенных процессов.

Дистанционные методы существенно улучшили организацию работ по инженерно-геологическому картированию труднодоступных районов (высокогорья, пустынь, необжитых лесистоболотистых районов), что позволяет более обоснованно прогнозировать влияние инженерно-геологических условий на строительство и эксплуатацию сооружений, сокращая, одновременно, объем и сроки наземных изысканий.

Комплексное использование различных материалов дистанционных съемок и современных методов их обработки и деши-



ффрирования является совершенно необходимым при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях.

#### § 84. Понятие о методах моделирования при гидрогеологических расчетах

В настоящее время при решении многих задач, связанных с вопросами водоснабжения или дренирования стройплощадок, карьеров, шахтных полей и других объектов, гидрогеологические и другие расчеты проводят, широко применяя приборы, моделирующие природные гидрогеологические условия. Наибольшее распространение получили метод ЭГДА, электро- и гидроинтеграторы.

Метод электрогидродинамических аналогий (ЭГДА) используется при изучении вопросов фильтрации в основании и в обход гидротехнических сооружений, водоснабжения, оценке притоков воды в горные выработки, проектировании различных водопонизительных установок и т. п. Он может применяться для моделирования как установившихся, так и неустановившихся потоков. Метод ЭГДА основан на аналогии между явлением ламинарной установившейся фильтрации воды и прохождением тока в электропроводящей среде, которой служит либо электропроводная бумага, либо жидкие электролиты. Этот метод, впервые разработанный Н. Н. Павловским, подробно описывается в работах Н. И. Дружинина, П. Ф. Фильчакова и др.

Электроинтеграторы представляют собой сеточные модели с сосредоточенными сопротивлениями в так называемых узлах моделей. В сеточных моделях сочетаются принципы счетно-решающих устройств и электрических моделей. Современные электроинтеграторы позволяют выполнять самые сложные гидрогеологические расчеты для условий как установившегося, так и неустановившегося движения. Решение задач основывается на аналогии между явлениями исследуемого физического процесса (движение воды в горных породах) и электрическими явлениями в узлах электроинтегратора, в которых сосредоточены электрические сопротивления, соответствующие сопротивлениям отдельных участков рассматриваемого гидрогеологического района. Для успешного решения гидрогеологических задач с помощью электроинтегратора необходимо задаваться начальными и граничными условиями, удовлетворяющими природным особенностям территории, по которой проводятся необходимые гидрогеологические расчеты. Описание электроинтеграторов и принцип их действия изложены в работах В. М. Шестакова и др.

Гидравлические интеграторы (системы В. С. Лукьянова) — это приборы, в которых электрические сопротивления заменяются гидравлическими сопротивлениями. Для задания

граничных условий служит специальная установка с подвижными водосливами, с помощью которых можно задавать любые условия, соответствующие реальной обстановке. Гидравлические интеграторы описаны в работах В. С. Лукьянова, М. А. Вевиоровской и др.

Методика подсчета и оценки эксплуатационных запасов подземных вод методом моделирования изложена в книге И. И. Крашина и Д. И. Пересунько [33].

### § 85. Машинная обработка информации

При гидрогеологических и инженерно-геологических изысканиях, особенно при проектировании сложных и дорогостоящих объектов (плотин, карьеров, дорог и др.), показатели, характеризующие физические, водные, прочностные и деформационные свойства горных пород, определяются для одной и той же разности на десятках и сотнях образцов, получая при этом массу частных значений этих показателей. Для расчетов же используются обобщенные и расчетные значения этих показателей, получаемые путем статистической обработки десятков и сотен частных значений этих показателей, получая при этом среднее арифметическое значение показателя, среднее квадратичное, коэффициент изменчивости и др. Зная эти показатели, можно определять гарантированные, расчетные значения показателя и др., используемые затем в самых различных расчетах (притоков воды в котлованы и карьеры, осадок сооружений, устойчивости откосов и др.).

Например: среднее арифметическое значение, оно же обобщенное, вычисляется по формуле

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N},$$

среднее квадратичное — по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{N}},$$

а коэффициент изменчивости — по формуле

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100,$$

где  $N$  — общее число частных определений;

$\sum x_i$  — сумма частных значений;

$\bar{x}$  — среднее арифметическое;

$\sigma$  — среднее квадратичное;

$v$  — коэффициент изменчивости (вариации).

Статистическая обработка многочисленных показателей методами математической статистики является чрезвычайно трудоемким процессом. Поэтому ныне эти показатели определя-



ются на электронно-вычислительных машинах ЭВМ (для чего предварительно составляется программа), на что затрачивается минимум времени.

Методы статистической обработки полевых и лабораторных исследований свойств горных пород изложены в книге И. С. Комарова [34] и др. руководствах.

### § 86. Структура гидрогеологической и инженерно-геологической службы

В СССР гидрогеологические и инженерно-геологические изыскания проводят многочисленные организации, находящиеся в различных министерствах, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией самых разнообразных объектов. Помимо них крупные исследования по гидрогеологии и инженерной геологии проводят научно-исследовательские институты, также находящиеся в различных министерствах, и кафедры гидрогеологии и инженерной геологии вузов (МГУ, МГРИ, ЛГИ и др.).

Например: ведущим научно-исследовательским институтом в области гидрогеологии в нашей стране является Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии — ВСЕГИНГЕО Министерства геологии СССР; ведущим институтом в области инженерной геологии является Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве — ПНИИИС Госстроя СССР. Подобные же научно-исследовательские институты находятся и в других министерствах (Центральный научно-исследовательский институт курортологии, изучающий лечебные воды; Всесоюзное геологическое объединение Министерства угольной промышленности, изучающее гидрогеологические и инженерно-геологические условия угольных месторождений страны; Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, рудничной геологии и маркшейдерскому делу — ВИОГЕМ Министерства черной металлургии и др.).

На местах центральные управления и институты имеют территориальные тресты, экспедиции и более мелкие подразделения, непосредственно ведущие гидрогеологические и инженерно-геологические исследования на определенных площадях и изыскания под определенные объекты.

1. *Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий при разведке и освоении месторождений твердых полезных ископаемых.* / В. Д. Бабушкин, Д. П. Пересунько, С. П. Прохоров, Г. Г. Скворцов. М., Недра, 1969. 408 с.
2. *Поиски, разведка, оценка запасов и эксплуатация линз пресных вод.* / И. С. Глазунов, В. М. Гольдберг и др. М., Недра, 1969. 304 с.
3. *Биндеман Н. Н., Язвин Л. С.* Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. 2-е изд. М., Недра, 1970. 214 с.
4. *Изыскание и оценка запасов промышленных подземных вод.* Под ред. С. С. Бондаренко и Н. В. Ефремочкина. М., Недра, 1971. 244 с.
5. *Боревский Б. В., Самсонов Б. Г., Язвин Л. С.* Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М., Недра, 1973. 304 с.
6. *Основы гидрогеологических расчетов.* Ф. М. Бочеввер, И. В. Гармонов, А. В. Лебедев и др. М., Недра, 1969. 368 с.
7. *Гидрогеологические исследования в горном деле.* Под ред. В. Д. Мироненко / В. Д. Мироненко, Ю. А. Норватов, Л. И. Сердюков и др. М., Недра, 1976. 352 с.
8. *Голева Г. А., Крайнов С. Р., Соколов И. Ю.* Методические указания по гидрогеохимическим поискам рудных месторождений. М., Недра, 1968. 90 с.
9. *Керкис Е. Е.* Методы изучения фильтрационных свойств горных пород. Л., Недра, 1975. 231 с.
10. *Климентов П. П.* Методика гидрогеологических исследований. М., Высшая школа, 1967. 421 с.
11. *Климентов П. П., Кононов В. М.* Динамика подземных вод. М., Высшая школа, 1973. 439 с.
12. *Коломенский Н. В.* Общая методика инженерно-геологических исследований. М., Недра, 1968. 342 с.
13. *Коломенский Н. В.* Специальная инженерная геология. 2-е изд. М., Недра, 1969. 336 с.
14. *Копоплянцева А. А., Семенов С. М.* Прогноз и картирование режима грунтовых вод. М., Недра, 1974. 214 с.
15. *Мазуров Г. П.* Физико-механические свойства мерзлых грунтов. 2-е изд. Л., Стройиздат. 1975. 216 с.
16. *Опытно-фильтрационные работы.* Под ред. В. Д. Шестакова и Д. Н. Башкатова. М., Недра, 1974. 203 с.
17. *Посохов Е. В.* Общая гидрогеохимия. Л., Недра, 1975. 208 с.
18. *Грунтоведение.* 4-е изд. Под ред. Е. М. Сергеева. Изд-во МГУ, 1973. 387 с.
19. *Седенко М. В.* Гидрогеология и инженерная геология. 2-е изд., М., Недра, 1970. 371 с.
20. *Инженерные изыскания в строительстве.* М., Стройиздат, 1975. 480 с.
21. *Скоростные методы исследования при гидрогеологических и инженерно-геологических съемках.* М., Недра, 1969. 336 с.
22. *СНиП II 15—74.* Строительные нормы и правила. Основания зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1975. 65 с.
23. *Справочное руководство гидрогеолога.* 2-е изд. / В. М. Максимов, В. Д. Бабушкин, Н. Г. Паукер и др. М., Недра, 1967. 360 с.
24. *Справочник по инженерной геологии.* 2-е изд. Под ред. М. В. Чуринова. М., Недра, 1974. 407 с.
25. *Методическое пособие по проектированию бортов карьеров и противооползневых мероприятий в условиях месторождений КМА.* Л., изд. ВНИМИ, 1967. 149 с.
26. *Чаповский Е. Е.* Инженерная геология. М., Высшая школа, 1975. 296 с.



27. Чаповский Е. Е. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. 4-е изд. М., Недра, 1975. 303 с.

28. Рекомендации по производству инженерно-геологической разведки. М., Стройиздат. 1975. 57 с.

29. Инструкция по разработке проектов и смет для промышленного строительства (СН 202—76). М., Стройиздат, 1976. 90 с.

30. Термальные воды СССР и вопросы их энергетического использования. М., Изд-во АН СССР, 1963.

31. Рекомендации по использованию радиоизотопных методов для определения физико-механических свойств грунтов. М., Стройиздат, 1971.

32. Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий. М., Стройиздат, 1967.

33. Крашин И. И. Пересунько Д. И. Оценка эксплуатационных запасов методом моделирования. М., Недра, 1976.

34. Комаров И. С. Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях. М., Недра, 1972.

Предисловие . . . . .	3
<b>Общие сведения</b> . . . . .	<b>4</b>
§ 1. Предмет и задачи гидрогеологии . . . . .	4
§ 2. Краткая история развития гидрогеологии . . . . .	5
§ 3. Предмет и задачи инженерной геологии . . . . .	6
§ 4. Краткая история развития инженерной геологии . . . . .	7
§ 5. Значение гидрогеологии и инженерной геологии в народном хозяйстве СССР . . . . .	8
<b>Глава I. Круговорот воды в природе</b> . . . . .	<b>9</b>
§ 6. Общие сведения . . . . .	9
§ 7. Атмосферные осадки . . . . .	11
§ 8. Испарение . . . . .	13
§ 9. Поверхностный и подземный стоки . . . . .	14
§ 10. Виды вод в горных породах . . . . .	16
§ 11. Происхождение подземных вод . . . . .	18
§ 12. Классификация подземных вод . . . . .	19
<b>Глава II. Физико-механические свойства горных пород</b> . . . . .	<b>21</b>
§ 13. Главнейшие процессы и факторы формирования физико-механических свойств горных пород . . . . .	21
§ 14. Показатели физико-механических свойств горных пород . . . . .	25
§ 15. Инженерно-геологическая классификация пород . . . . .	43
§ 16. Искуственное изменение свойств грунтов — техническая мелиорация грунтов . . . . .	47
<b>Глава III. Основные виды движения подземных вод</b> . . . . .	<b>50</b>
§ 17. Виды передвижения воды в породах . . . . .	50
§ 18. Основные законы движения подземных вод . . . . .	52
§ 19. Определение направления и скорости движения подземных вод . . . . .	55
§ 20. Приток воды к водозаборным сооружениям . . . . .	58
§ 21. Взаимодействие водозаборов . . . . .	64
§ 22. Определение расхода подземного потока . . . . .	64
§ 23. Понятие о балансе, режиме и запасах подземных вод . . . . .	65
<b>Глава IV. Полевые опытные работы</b> . . . . .	<b>67</b>
§ 24. Цель опытных работ . . . . .	67
§ 25. Опытнo-фильтрационные работы . . . . .	67
§ 26. Оборудование скважин для откачек . . . . .	69
§ 27. Проведение откачек . . . . .	70
§ 28. Обработка результатов откачки . . . . .	71
§ 29. Понятие об опытных наливах и нагнетаниях . . . . .	74
§ 30. Полевые методы определения сопротивления пород сжатию и сдвигу . . . . .	76
§ 31. Отбор монолитов грунта из выработок и скважин . . . . .	82
<b>Глава V. Физические свойства и химический состав подземных вод</b> . . . . .	<b>83</b>
§ 32. Физические свойства подземных вод . . . . .	83
§ 33. Химический состав подземных вод . . . . .	84
§ 34. Оценка качества воды . . . . .	87
§ 35. Агрессивные свойства подземных вод . . . . .	88



<b>Глава VI. Грунтовые воды</b>	89
§ 36. Общие сведения	89
§ 37. Воды зоны аэрации, грунтовые воды и особенности их залегания	89
§ 38. Карты гидроизогипс	92
§ 39. Зональность грунтовых вод	93
§ 40. Основные типы грунтовых вод	94
<b>Глава VII. Артезианские воды</b>	96
§ 41. Условия залегания артезианских вод	96
§ 42. Примеры артезианских бассейнов СССР	98
§ 43. Межпластовые безнапорные воды	98
§ 44. Источники	99
<b>Глава VIII. Трещинные и карстовые воды</b>	101
§ 45. Трещинные воды	101
§ 46. Карстовые воды	102
<b>Глава IX. Подземные воды многолетней мерзлоты</b>	103
§ 47. Общие сведения	103
§ 48. Типы многолетней мерзлоты	104
§ 49. Основные типы подземных вод зоны многолетней мерзлоты	105
§ 50. Источники в зоне многолетней мерзлоты	109
§ 51. Явления, связанные с вечной мерзлотой	109
<b>Глава X. Минеральные (лечебные), промышленные и термальные воды</b>	112
§ 52. Лечебные минеральные воды	112
§ 53. Промышленные воды	112
§ 54. Термальные воды	113
<b>Глава XI. Условия обводнения горных выработок</b>	114
§ 55. Понятие о шахтных водах, задачи рудничной гидрогеологии	114
§ 56. Условия обводненности месторождений	115
§ 57. Гидрогеологическая классификация месторождений твердых полезных ископаемых	119
§ 58. Определение притоков воды в горные выработки	120
§ 59. Методы борьбы с рудничными водами при разработке месторождений	122
§ 60. Использование рудничных вод	125
<b>Глава XII. Физико-геологические и инженерно-геологические процессы и явления</b>	126
§ 61. Классификация физико-геологических и инженерно-геологических процессов и явлений	126
§ 62. Явления, связанные с деятельностью поверхностных вод	127
§ 63. Явления, связанные с деятельностью сил гравитации, поверхностных и подземных вод на склонах	130
§ 64. Явления, связанные с промерзанием и оттаиванием пород	137
§ 65. Инженерно-геологическая оценка явлений карста	139
§ 66. Суффозионные процессы	140
§ 67. Пльвуны в горных и других выработках	141
§ 68. Землетрясения	142
§ 69. Инженерно-геологические явления	142
<b>Глава XIII. Гидрогеологические исследования при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых</b>	151
§ 70. Объем и характер гидрогеологических исследований при геологоразведочных работах	151

§ 71. Гидрогеологическая съемка . . . . .	153
§ 72. Гидрогеохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых . . . . .	157
§ 73. Гидрогеологические наблюдения в скважинах и горных выработках . . . . .	159
§ 74. Поиски и разведка подземных вод для водоснабжения. . . . .	165
§ 75. Понятие о методах подсчета запасов подземных вод . . . . .	167
§ 76. Гидрогеологические исследования в целях осушения . . . . .	169
§ 77. Гидрогеологические исследования в целях орошения . . . . .	170
§ 78. Охрана подземных вод . . . . .	171
<b>Глава XIV. Инженерно-геологические изыскания . . . . .</b>	<b>173</b>
§ 79. Общие сведения . . . . .	173
§ 80. Виды и объемы инженерно-геологических изысканий для различных видов строительства . . . . .	176
§ 81. Отчетные материалы об инженерно-геологических изысканиях . . . . .	185
<b>Глава XV. Применение геофизических и космических методов в гидрогеологии и инженерной геологии . . . . .</b>	<b>187</b>
§ 82. Геофизические методы . . . . .	187
§ 83. Космические методы . . . . .	192
§ 84. Понятие о методах моделирования при гидрогеологических расчетах . . . . .	194
§ 85. Машинная обработка информации . . . . .	195
§ 86. Структура гидрогеологической и инженерно-геологической службы . . . . .	196
Список литературы . . . . .	197

ИБ № 1837

МАТВЕИ ВАСИЛЬЕВИЧ СЕДЕНКО

## ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Редактор издательства *С. Г. Бароянц*  
 Переплет художника *С. А. Смирновой*  
 Художественный редактор *Е. Л. Юрковская*  
 Технические редакторы *Е. Н. Семенова, Л. Г. Лаврентьева*  
 Корректор *С. В. Зимина*

Сдано в набор 06.12.78. Подписано в печать 15.03.79.  
 Т-06034. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Печ. л. 12,5 Уч.-изд. л. 13,33  
 Тираж 13 000 экз. Заказ 1714/6670—2. Цена 45 коп.

Издательство «Недра», 103633,  
 Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19  
 Московская типография № 32 Союзполиграфпрома при  
 Государственном комитете СССР по делам издательств,  
 полиграфии и книжной торговли.  
 Москва, 103051, Цветной бульвар, 26.



2889

НЕДРА