

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет
имени И. Т. Трубилина»

К. Э. Коленченко

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ

Учебное пособие

Краснодар
КубГАУ
2019

УДК 556.3+551.1/.4(075.8)

ББК 26.3

К60

Рецензенты:

И. В. Иванусь – доцент кафедры региональной и морской геологии
Кубанского государственного университета,
канд. геол.– минерал. наук, доцент;

П. А. Ляшенко – профессор кафедры «Основания и фундаменты»
Кубанского государственного аграрного университета,
канд. техн. наук, доцент

Коленченко К. Э.

К60 Гидрогеология и основы геологии : учеб. пособие /
К. Э. Коленченко. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 107 с.

ISBN

В учебном пособии приведены сведения по гидрогеологии и основам геологии, необходимые для работы специалиста в области водохозяйственного и природоохранного строительства. Описаны основные методы проведения гидрогеологических и геологических изысканий, методики прогноза изменений в гидрогеологической среде под влиянием водохозяйственных мероприятий.

Издание предназначено для обучающихся по направлению подготовки 20.03.02 Природообустройство и водопользование.

УДК 556.3+551.1/.4(075.8)

ББК 26.3

ISBN

© Коленченко К. Э., 2019
© ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный аграрный
университет имени
И. Т. Трубилина», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1 ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ГЕОЛОГИИ.....	7
1.1 Форма, строение и размеры Земли.....	7
1.2 Минералы и горные породы.....	9
1.2.1 Происхождение, состав, свойства и классификация минералов.....	9
1.2.2 Магматические горные породы.....	11
1.2.3 Осадочные горные породы.....	14
1.2.4 Метаморфические горные породы.....	17
1.3 Возраст горных пород и тектоника земной коры.....	18
1.3.1 Возраст горных пород, шкала геологического времени Земли.....	18
1.3.2 Тектонические движения.....	20
2. ГИДРОГЕОЛОГИЯ.....	24
2.1 Общие сведения о гидрогеологии.....	24
2.1.1 Гидросфера и круговорот воды в природе.....	24
2.1.2 Виды воды в горных породах и водные свойства горных пород.....	26
2.2 Происхождение и классификация подземных вод.....	30
2.2.1 Происхождение подземных вод.....	30
2.2.2 Зоны аэрации и водонасыщения.....	31
2.2.3 Классификация подземных вод.....	32
2.3 Физические и химические и свойства подземных вод... 2.3.1 Показатели физических свойств подземных вод.....	37
2.3.2 Химический состав подземных вод, параметры и ме- тоды его выражения.....	40
2.3.3 Факторы и процессы, определяющие химический со- став подземных вод.....	45
2.3.4 Агрессивные свойства подземных вод.....	48
2.4 Оценка качества подземных вод для водохозяйственного использования.....	49
2.5 Динамика подземных вод.....	52
2.5.1 Законы фильтрации подземных вод.....	52
2.5.2 Гидрогеологические параметры и методы их определения.....	54

2.5.3 Направление потока и приток подземных вод к водозаборным сооружениям.....	58
2.6 Прогнозы гидрогеологических условий в водохозяйственном строительстве.....	63
2.6.1 Методы гидрогеологических прогнозов.....	64
2.6.2 Прогноз изменения уровня грунтовых вод в условиях мелиорации.....	65
2.6.3 Прогноз засоления грунтовых вод и почвогрунтов под влиянием водохозяйственных мероприятий.....	68
2.7 Ресурсы подземных вод и их количественная оценка.....	70
2.8 Охрана подземных вод от истощения и загрязнения.....	73
3. ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГРУНТОВЕДЕНИЯ.....	77
4. ПРОЦЕССЫ В ПРИРОДНОЙ СРЕДЕ И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	82
5. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА.....	90
5.1 Изыскания на различных стадиях проектирования объектов ВХС.....	90
5.2 Состав и методы изысканий.....	92
5.3 Геологические карты и разрезы.....	96
Заключение	100
Список литературы.....	101
Приложения.....	103

ВВЕДЕНИЕ

Водохозяйственное строительство (ВХС) является одной из самых сложных и ответственных отраслей народного хозяйства. Для проектирования и строительства объектов водохозяйственного комплекса и объектов природообустройства необходимы знания геологического строения, гидрогеологических и инженерно– геологических условий территории. Эти условия определяют принципиальную схему и методы гидротехнических, природоохранных мероприятий и определяют параметры систем и сооружений, обеспечивающие нормальную работу и экологическую безопасность этих мероприятий. Помимо этого, в современных условиях, подземные воды являются важнейшим источником водоснабжения, орошения и других хозяйственно– технических мероприятий по водопользованию и природообустройству. В связи с этим глубокие знания в области геологии и гидрогеологии являются необходимыми условиями для работы специалиста водохозяйственного строительства.

Данное учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 20.03.02 – Природообустройство и водопользование. Цель издания пособия – помощь обучающемуся при изучении теоретических основ дисциплины «Гидрогеология и основы геологии» и выполнении практических заданий, предусмотренных программой изучения дисциплины. Знания по гидрогеологии и основам геологии являются базой для изучения специальных дисциплин, таких как: «Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации», «Почвоведение», «Механика грунтов, основания и фундаменты», «Строительные материалы и конструкции», «Гидротехнические сооружения», «Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение», «Организация и технология гидромелиоративных работ» и др.

Учебное пособие составлено в соответствии с рабочей программой дисциплины «Гидрогеология и основы геологии». Рассмотрены основные вопросы, необходимые в работе специалиста водохозяйственного строительства: классификация, динамика, химический состав и оценка качества подземных вод. Приведены общие сведения по основам геологии (классификация, физические и химические свойства, условия залегания минералов и горных по-

род; геохронология и геодинамика земной коры, геологические процессы на поверхности и в недрах земной коры. Описаны основные методы проведения гидрогеологических и геологических изысканий, мероприятия по охране природной геологической среды и ресурсов подземных вод при строительстве и эксплуатации водохозяйственных и природоохранных объектов.

Строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений и систем оказывает существенное влияние на динамику, объемы, химический состав подземных вод и в целом сказывается на экологических условиях самого объекта и прилегающих к нему территорий. В связи с этим, в представленном учебном пособии особое внимание уделено вопросам прогноза и моделирования изменений, происходящих в гидрогеологической среде под влиянием хозяйственной деятельности. Рассмотрены методы прогнозных гидродинамических расчетов уровня режима подземных вод, и расчеты по прогнозу засоления земель под влиянием орошения.

1 ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ГЕОЛОГИИ

Геология – это комплексная наука, изучающая состав, строение, историю развития Земли, процессы, происходящие в ее недрах и на поверхности. Для практической деятельности человека интерес представляет, в первую очередь, изучение земной коры. Специалисту водохозяйственного строительства необходимы знания по геологии для проведения оценки инженерно – геологических условий местности, решения вопросов технической возможности и экономической целесообразности строительства объектов ВХС в определенных геологических условиях, определения технических параметров этих объектов на основании проведенной оценки.

1.1 Форма, строение и размеры Земли

Форма земли представляет собой *геоид*, т. е. сжатый на полюсах эллипсоид. Масса Земли составляет 5976×10^{21} кг, объем – $1,083 \times 10^{12}$ км³, средний радиус – 6371,2 км. Поверхность Земли на площади 361,1 млн км² (70,8 %) покрыта поверхностными водами (океанами, морями, озерами и т. д.), суша занимает 148,9 млн км² (29,2 %). В структуре Земли выделяют внешние и внутренние оболочки. К внешним оболочкам относятся:

– *атмосфера* – газовая оболочка, состоящая в основном из азота (78,1 %) и кислорода (21,3 %);

– *гидросфера* – водная оболочка, состоящая из поверхностных, подземных вод, вод атмосферных осадков, ледников, вод в составе живых организмов и т. д.;

– *биосфера* – область распространения живого вещества (человек, животные, растения, микроорганизмы и т. д.).

Внутренние оболочки:

– *ядро* – состоит из очень плотного вещества (14 г/см³). По современным представлениям в составе ядра 90 % железа с примесью кислорода, углерода, водорода и серы. Ядро делится на внутреннее (твердое) и внешнее (жидкое);

– *мантия* – силикатная оболочка между ядром и литосферой, состоящая, по сути, из расплавленных горных пород. Мантия делится на внешнюю и внутреннюю (рисунок 1). Состоит из пиролита – смеси перидотита (75 %) и толеритового базальта (25 %). Ман-

тия является причиной и источником сейсмических явлений и процессов горообразования.

– *литосфера* – «каменная оболочка Земли», состоящая из горных пород в твердом кристаллическом состоянии и обладающая жесткостью и прочностью. В состав литосферы входит земная кора и верхняя (подкорковая) часть мантии. *Земная кора*, в свою очередь, подразделяется на *континентальную* – «сушу» и *океаническую* – находящуюся под покровом морей и океанов. Мощность континентальной коры составляет от 20 до 80 км и она значительно мощнее океанической мощностью которой от 5 до 30 км. Земная кора имеет алюмосиликатный состав: SiO_2 – 49 – 62 %, Al_2O_3 – 15 – 16%. Из химических элементов преобладают кислород – 43,13 %, кремний – 26 %, алюминий – 7,5 %.

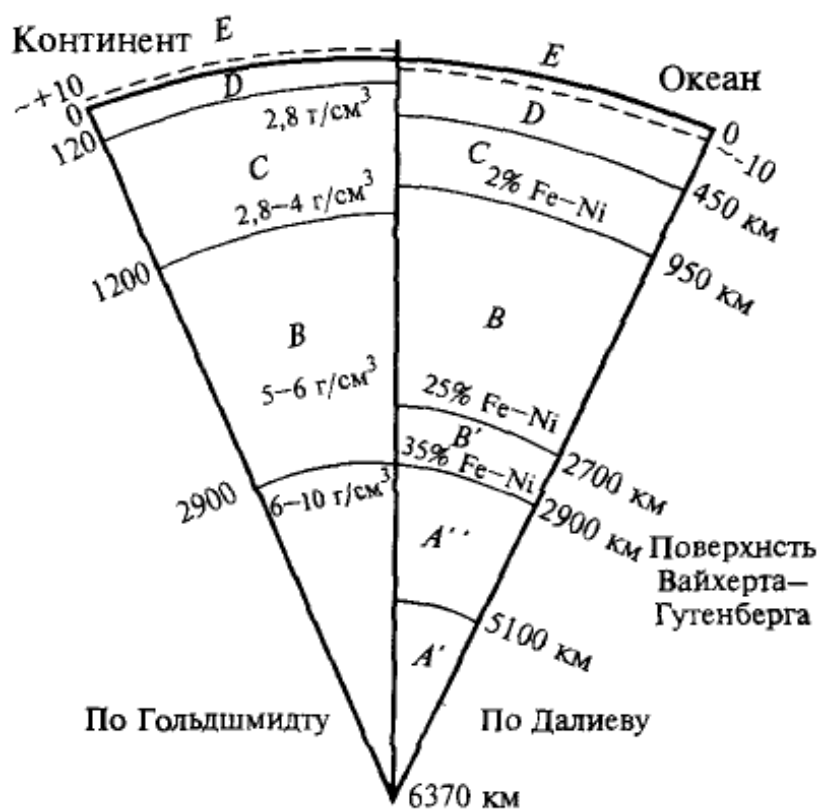


Рисунок 1 – Строение Земли:

A – ядро; *B* – нижняя мантия; *C* – верхняя мантия; *D* – земная кора;
E – атмосфера

1.2 Минералогия и петрография

1.2.1 Происхождение, состав, свойства и классификация минералов

Минералы – это химические соединения или элементы, образующиеся в земной коре и слагающие её в составе горных пород или отдельных скоплений. Наука, изучающая минералы называется *минералогией*. Минералы входят в состав горных пород и во многом определяют их свойства, что очень важно при проведении оценки инженерно – геологических условий на строительном объекте.

Минералы разделяют на две категории:

- *природные*, образующиеся в земной коре в результате естественных геологических процессов;
- *искусственные* – образующиеся в результате деятельности человека.

В данном учебном пособии будут рассмотрены природные минералы, поскольку именно они представляют первоочередной интерес для хозяйственной деятельности человека, в том числе инженерно– строительной.

В настоящее время известно более 7000 наименований минералов, входящих в состав земной коры. Из них только около 100 имеют широкое распространение, поскольку входят в состав часто встречающихся в природе горных пород. Такие минералы называются *породообразующими*.

Свойства минералов во многом определяет их происхождение. *Эндогенные минералы* образуются в результате внутренних (эндогенных) геологических процессов, происходящих в земной коре, главным образом в результате застывания магмы. Такие минералы имеют высокую твердость, плотность, стойкие к воде и кислотам и щелочам. Наглядным примером таких минералов является *кварц*. *Экзогенные минералы* образуются из эндогенных в результате процессов, происходящих на поверхности земной коры (выветривание, воздействие воды, кислот и щелочей, и др.) (*каолинит*), а так же в процессе выпадения химических осадков из водных растворов (*галит*). Эти минералы имеют, как правило, низкую твердость, взаимодействуют с водой или даже растворяются в ней. *Метаморфические минералы* образуются в недрах земной коры под воздей-

ствием высокой температуры и давления. Происходит изменение кристаллической решетки (перекристаллизация) исходных экзогенных минералов, в результате чего они приобретают высокую плотность и твердость (*роговая обманка*).

Структуру минералов определяет наличие или отсутствие в них кристаллической решетки строения атомов. *Кристаллические минералы* имеют строго определенную пространственную решетку. *Аморфные минералы* не имеют кристаллической структуры, изотропны и обладают неправильной внешней формой.

Основными физическими свойствами (отличительными признаками) минералов являются цвет, блеск (металлический, стеклянный, жирный, матовый), прозрачность, твердость (определяется по 10 балльной шкале Мооса), спайность (совершенная, весьма совершенная, без спайности). Некоторые минералы можно отличить от других по характерным признакам, например полное растворение в воде (*галит*), или взаимодействие с раствором соляной кислоты (карбонатные минералы).

Поскольку минералы являются химическими соединениями или элементами, основной их классификацией является классификация по химическому составу, в которой различают 10 классов (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация минералов по химическому составу.

Класс	Минерал	Класс	Минерал
Силикаты	Ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$	Сульфаты	Гипс $Ca_2SO_4 \cdot 2H_2O$
Карбонаты	Кальцит $CaCO_3$	Галоиды	Галит $NaCl$
Оксиды	Кварц SiO_2	Фосфаты	Апатит $Ca_5(F,Cl)(PO_4)_3$
Гидрослюды	Опал $SiO_2 \cdot nH_2O$	Вольфрамиты	Вольфрамит $(Fe,Mn)WO_4$
Сульфиды	Пирит FeS_2	Самородные	Алмаз C

Дадим краткую характеристику наиболее распространенным в природе химическим классам минералов.

Силикаты содержат в своем химическом составе оксид кремния (таблица 1). Класс включает около 800 наименований наиболее

распространенных минералов, которые входят в состав большинства магматических и метаморфических пород. К силикатам относят полевые шпаты, пироксены, амфиболы, слюды, хлориты и глинистые минералы.

Карбонаты. Минералы этого класса являются солями угольной кислоты, насчитывают более 80 наименований, в основном экзогенного происхождения. Карбонаты разрушаются в кислотах, слабо взаимодействуют с водой.

Оксиды и гидроксиды включают около 200 наименований минералов и составляют примерно 17 % от массы земной коры. Наиболее распространены *кварц, опал, лимонит*.

Сульфиды насчитывают до 2000 наименований минералов. Самый распространенный – *пирит*, взаимодействуя с водой образует серную кислоту, поэтому примесь его в строительных материалах недопустима.

Сульфаты. Класс включает до 260 минералов, которые образуются в водных растворах и являются солями серной кислоты. Обладают невысокой твердостью и хорошей растворимостью в воде.

Галоиды. Класс, включающий около 100 минералов, являющихся солями соляной, фтористоводородной и других кислот. Большинство галоидов образуется осаждением из водных растворов и хорошо растворяются в воде.

Минералы, входящие в выше перечисленные классы являются химическими соединениями и классифицируются по химическому составу. В отличие от них, *самородные минералы* состоят из одного какого либо химического элемента. Самые распространенные минералы этого класса – *алмаз* (состоит из углерода) и *сера*.

1.2.2 Магматические горные породы

Горные породы – это минеральные агрегаты, образующиеся в земной коре или на ее поверхности, обладающие определенными свойствами, структурными и генетическими признаками. Из горных пород состоит литосфера Земли.

Магматические горные породы – это горные породы, образовавшиеся в результате застывания магмы в недрах или на поверхности земной коры. Химический состав магматических горных пород, как и осадочных и метаморфических описывается процентным

содержанием химических соединений входящих в состав породы. Например, состав базальта: SiO_2 – 49–52 % , Al_2O_3 – 10–14%, Fe_2O_3 –4–14 % , CaO – 8–10%.

В зависимости от условий, в которых происходило застывание магмы, магматические горные породы делятся на 2 группы:

– *интрузивные* (глубинные) – застывшие в недрах земной коры;

– *эффузивные* (излившиеся) – застывшие на поверхности.

Время и условия застывания горных пород обуславливает их свойства. Так интрузивные породы, застывают при более высокой температуре значительно дольше, чем эффузивные, поэтому приобретают большую по сравнению с ними плотность, массивность и сопротивление сжатию.

Структура – внутреннее строение породы, зависящие от формы, размеров и количественного соотношения в ней минералов. Различают *зернистую* (полнокристаллическую, состоящую только из зерен (кристаллов)), *порфировую* (полукристаллическую, состоящую из зерен и стекловатой массы) и *стекловатую* (не имеющую в составе зерен) структуры.

Текстура (сложение) – пространственное расположение частей породы в её объеме. Горные породы могут обладать *массивной* (с равномерным плотным расположением минералов), *полосчатой* (чередование в породе участков различного минерального состава и структуры) и *шлаковой* (содержание в породе видимых глазу пустот) текстурой.

Интрузивные породы обычно имеют зернистую (полнокристаллическую) структуру и массивную текстуру (*гранит, габбро, диорит*), а эффузивные по структуре скрытокристаллические (*липарит*), порфировые (*андезит*) или стекловатые (*обсидиан*), имеют чаще массивную, реже шлаковую (*пемза, вулканический туф*) текстуру.

Формы залегания магматических горных пород. Глубоко залегающие от земной поверхности обширные (протяженностью до нескольких сотен километров) массивы пород называют *батолитами*. Кроме батолитов различают следующие формы залегания магматических глубинных горных пород, гораздо меньших по занимаемому в недрах земли пространству: *штоки* – ответвления от батолитов; *лакколиты* – грибообразные формы, образовавшиеся

при внедрении магмы между слоями осадочных горных пород; *жилы* – образуются при заполнении магмой трещин в земной коре. Излившиеся горные породы залегают в виде *лавовых покровов* и *потоков*, образовавшихся в результате растекания магмы на земной поверхности.

Важной с практической точки зрения классификацией магматических горных пород является классификация по содержанию кремнезема SiO_2 . С уменьшением содержания кремнезема возрастает плотность породы и понижается температура плавления, становится более темной окраска. Различают 4 группы горных пород по содержанию в них кремнезема: *кислые, средние, основные и ультраосновные* (таблица 2).

Таблица 2 – Классификация магматических горных пород по содержанию SiO_2

Степень кислотности (содержание SiO_2 , %)	Характерные минералы	Окраска
Кислые породы 70-65	Много полевого шпата (ортоклаз, микроклин). Темноцветных минералов (роговая обманка, черная слюда) очень мало (5-10%)	Светлая
Средние породы 65-52	Основной минерал – полевой шпат (ортоклаз, микроклин). Темноцветных минералов мало (до 15 %)	Светлая
	Основной минерал - полевой шпат. Присутствует нефелин. Темноцветных минералов мало (до 15 %)	Светлая
	Основной минерал – полевой шпат (плагиоклаз). Темноцветных минералов (авгит, черная слюда) становится больше (до 25 %)	Темная
Основные породы 52-40	Основной минерал – полевой шпат (плагиоклаз), пироксены. Темноцветных минералов 35 – 40 %	Темная
	Состоит из одного минерала – лабрадора (плагиоклаза)	Темная
Ультраосновные породы 40-35	Полевой шпат отсутствует. Основные минералы – оливин, пироксен	Темная
	В основном состоит из оливина	Темная
	В основном состоит из минералов группы пироксена. Брекчевидная порода, состоящая из оливина, пироксена, граната и других минералов	Темная

Кислые породы наиболее распространенные среди магматических горных пород и обладают более высокими строительными характеристиками, чем породы остальных групп.

1.2.3 Осадочные горные породы

В свободной энциклопедии «Википедия» осадочным горным породам (ОГП) дано следующее определение: «*Осадочные горные породы* – это горные породы, существующие в термодинамических условиях, характерных для поверхностной части земной коры, и образующиеся в результате переотложения продуктов выветривания и разрушения различных горных пород, химического и механического выпадения осадка из воды, жизнедеятельности организмов или всех трех процессов одновременно».

Исходным материалом при формировании ОГП являются минеральные вещества, образовавшиеся за счет разрушения существовавших ранее минералов и горных пород магматического, метаморфического или осадочного происхождения и перенесённые в виде твёрдых частиц или растворенного вещества. Перенесенные и накопленные на дне морей, рек, океанов и на поверхности суши продукты разрушения с течением времени видоизменяются (уплотняются, приобретают структуру и т. д.) и образуются различные осадочные породы.

Осадочные породы составляют лишь 5 % от объема всех горных пород, слагающих литосферу, но залегают они в верхней части земной коры, что обуславливает их первостепенную значимость для инженерно – хозяйственной деятельности человека.

Основной характеристикой строения ОГП является *текстура* (сложение), которая может быть *плотной* или *рыхлой*. Минеральный и химический состав ОГП зависит, в первую очередь, от состава первичной породы (магматической, метаморфической или осадочной), из которой образовалась осадочная, а структура, плотность, пористость и инженерно– геологические свойства в большей мере зависят от условий, в которых происходило формирование породы. В связи с этим, классификация осадочных пород по происхождению имеет существенную практическую значимость. По происхождению различают 3 группы ОГП: 1) обломочные; 2) хемогенные; 3) органогенные породы.

Обломочные ОГП – являются результатом разрушения (механического или химического) магматических, метаморфических или ранее образованных осадочных горных пород. В зависимости от размеров, формы обломков и отсутствия или наличия цементированности между ними, обломочным ОГП дают определенное название, которое имеет существенное значение при оценке инженерно– геологических свойств породы (таблица 3). Название обломочной породе дается по содержанию в ней преобладающих по форме и размерам обломков (более 50% от общего объема).

К обломочным *рыхлым* породам (без жестких связей) относятся связные (глины, суглинки, супеси, лессы лессовидные породы), несвязные (пески, гравелистые, галечниковые и др.) и биогенные.

Таблица 3 – Классификация обломочных осадочных горных пород

Группа пород	Размер обломков, мм	Рыхлые (несцементированные, сыпучие) породы		Компактные (сцементированные) породы	
		угловатые (неокатанные)	окатанные	Угловатые обломки	окатанные обломки
Грубообломочные	> 200	Глыбы	Валуны	Глыбовые брекчии	Конгломераты валунные
	200–10	Щебень	Галька, галечник	Галечные брекчии	Конгломераты галечные
	10–2	Дресва	Гравий	Дресвяник	Конгломераты, Гравийные (гравелиты)
Песчаные (псаммиты)		Пески		Песчаники	
	2–1	грубозернистые		грубозернистые	
	1–0,5	крупнозернистые		крупнозернистые	
	0,5–0,25	среднезернистые		среднезернистые	
	0,25– 0,1	мелкозернистые		мелкозернистые	
	0,1–0,05	тонкозернистые		тонкозернистые	
Алевритовые	0,05–0,005	Алевриты		Алевролиты	
Глинистые	< 0,005	Глины		Аргиллиты	

Наличие в *связных* породах значительного количества глинистых частиц обуславливает возникновение *коллоидных* связей между ними. Коллоидные связи являются следствием действия сил молекулярного и электростатического притяжения между самими частицам, а так же между частицами и молекулами воды, содержащейся в породе. Связные породы существенно меняют свои свойства в зависимости от содержания в них воды. С увеличением влажности этих пород резко снижается их прочность, от твердого состояния (консистенции) происходит переход к пластичному и далее к текучему. *Несвязные* рыхлые породы практически не имеют между частицами связей аналогичных связным породам. Их прочностные и деформационные характеристики определяются особенностями внутреннего строения. Связь между частицами осуществляется в большей мере за счет силы трения между ними.

Сцементированные обломочные породы образуются в результате природной цементации рыхлых горных пород при взаимодействии их с цементирующими веществами, кремнеземистого, железистого известкового или глинистого состава. В результате цементации происходит уплотнение рыхлой породы и образование жестких кристаллизационных связей между отдельными частицами. Наиболее прочным цементом является цемент кремнеземистого состава, наименее прочным – глинистого. В зависимости от размеров обломков сцементированные породы делятся на *крупнообломочные* (конгломераты, гравелиты, брекчии) и *мелкообломочные* или песчаные (крупно–, средне– и мелкозернистые песчаники). Прочность песчаников зависит от их минерального состава, размера зерен и вида цемента. Наиболее прочными считаются кварцевые песчаники с железистым или кремнистым цементом (сопротивление сжатию – $R_{сж} = 150–200$ МПа). Наименее прочные песчаники глинистой цементации ($R_{сж} = 1–2$ МПа). Мелкозернистые песчаники считаются более прочными чем средне– и крупнозернистые. *Пылеватые* и *глинистые* сцементированные обломки (аргиллиты, алевролиты) образуются в результате цементации песчано – пылеватых и глинистых рыхлых пород вследствие их уплотнения и кристаллизации коллоидов. Прочность аргиллитов и алевролитов определяется типом и составом цемента, поэтому варьирует в больших пределах. Прочность некоторых пород достигает 100 МПа, но при этом аргиллиты и алевролиты обладают выраженной

слоистостью, что существенно ухудшает их инженерно – геологические характеристики, так как они подвержены быстрому выветриванию, рассыпанию и размоканию в воде. В связи с этим наличие слабых прослоек данных пород в геологическом профиле существенно ухудшает инженерно – геологические условия.

Хемогенные ОГП образуются в результате выпадения из водных растворов химических осадков. Хемогенные породы подразделяют по химическому происхождению. Наиболее распространёнными являются *карбонатные* (известняки, доломит, магнезит и др.), *сульфатные* (ангидрит, гипс) и *хлоридные* (каменная соль) хемогенные породы. Они, как правило, растворимы в воде и трещиноваты.

Органогенные (биогенные) ОГП образуются в результате накопления и преобразования остатков живых организмов (растений и животных). Чаще всего, эти породы имеют не чисто органическое, а смешанное, т.е. органохимическое происхождение. Породы обладают высокой пористостью, сжимаемостью, многие растворяются в воде. Наиболее распространенные органогенные породы – биогенные известняки, мел, диатомит, трепел, опока, торф.

1.2.4 Метаморфические горные породы

Метаморфические горные породы – породы, образовавшиеся в результате метаморфизации первичных (осадочных или магматических) горных пород. *Метаморфизм* – это процесс изменения структуры, текстуры и минерального состава горной породы под действием эндогенных процессов в недрах земной коры. Метаморфизация происходит в *зоне метаморфизма*, верхняя граница которой находится на глубине около 800 м от поверхности земли. Под действием высоких температур, давлений и активных химических соединений происходит *перекристаллизация* первичной породы, т.е. изменение ее кристаллической решетки, в результате чего принципиально меняются свойства этой породы.

По минеральному составу метаморфические породы ближе к магматическим. В большинстве случаев породообразующими минералами являются *кварц, тальк, хлорит, слюды*. Структура пород в основном зернистая. Более важным отличительным признаком для метаморфических пород является текстура, которая может быть *массивной, сланцеватой* (однообразное расположение пла-

стинчатых минералов) или *полосчатой* (обособление минеральных скоплений в виде полос). Сланцеватая структура характерна для всех видов сланцев (*сланцеватой, тальковый, глинистый* и др.), полосчатой текстурой обладают *гнейсы*, а массивной – *мрамор* и *кварцит*.

Метаморфические породы могут залегать на значительной глубине, если сформировались из глубинных магматических пород. В результате тектонических деформаций они могут «выходить» на дневную поверхность и служить основанием для зданий и сооружений.

Породы обладают жесткими, преимущественно кристаллизационными связями, поэтому для них характерна достаточно высокая прочность. Они не растворяются в воде, но в связи с большой трещиноватостью легко деформируемы и водопроницаемы. Сланцеватость пород обуславливает высокую степень их выветривания. Наиболее прочными и устойчивыми к выветриванию являются породы массивной текстуры – *кварциты* (прочность на сжатие $R_{сж} = 150–200$ МПа) и *мраморы*. Прочность мрамора (перекристаллизованный известняк) зависит от его структуры и степени водонасыщения и изменяется от 50–60 у крупнозернистых разновидностей до 200 МПа у мелкозернистых. Характерной особенностью мрамора является его слабая растворимость в воде. Сланцы обладают выраженной анизотропностью свойств, в связи с этим прочность их изменяется в значительном интервале (от долей до 100 и более МПа). Высокая трещиноватость сланцев и как следствие сильная водопроницаемость и выветриваемость существенно ограничивает их применение в качестве оснований под строительство, даже в случае высоких показателей прочности на сжатие. Наиболее подвержены выветриванию метаморфические породы сланцевой текстуры, содержащие в составе *биотит*.

1.3 Возраст горных пород и тектоника земной коры

1.3.1 Возраст горных пород, шкала геологического времени

Для оценки пространственного положения и инженерно-геологических характеристик горных пород требуется определение их возраста. Различают относительный и абсолютный возраст гор-

ных пород, устанавливаемый опытными или аналитическими методами.

Таблица 4 – Шкала геологического времени Земли (Геохронологическая шкала)

Эон (Эоно-тема)	Эра ¹ (эратема) ² или группа	Период ¹ (система ²)	Ин-декс	Эпоха ¹ (отдел ²)	Ин-декс
ФАНЕРОЗОЙ (531±1)	Кайнозойская KZ (около 65)	Четвертичный (квартер) 1,8	Q	Голоцен	Q₄
				Плейстоцен	Q₁₋₃
		Неогеновый 23±1	N	Плиоценовая	N₂
				Миоценовая	N₁
				Палеогеновый 65	P
		Эоценовая	P₂		
	Палеоценовая	P₁			
	Мезозойская MZ (около 186)	Меловой 145±3	K	Поздняя	K₂
				Ранняя	K₁
		Юрский 200±1	J	Поздняя	J₃
				Средняя	J₂
				Ранняя	J₁
		Триасовый 251±3	T	Поздняя	T₃
	Средняя			T₂	
	Ранняя			T₁	
	Палеозойская PZ (около 284)	Пермский 295±5	P	Поздняя	P₃
				Средняя	P₂
				Ранняя	P₁
		Каменноугольный 369±0	C	Поздняя	C₃
				Средняя	C₂
				Ранняя	C₁
		Девонский 418±2	D	Поздняя	D₃
				Средняя	D₂
				Ранняя	D₁
		Силурийский 443±2	S	Поздняя	S₂
				Ранняя	S₁
		Ордовикский 490±2	O	Поздняя	O₃
Средняя				O₂	
Ранняя				O₁	
Кембрийский 535±1		Є	Поздняя	Є₃	
	Средняя		Є₂		
	Ранняя		Є₁		
Протерозой – PR 2500		Расчленение на системы Имеет только местное значение			
Архей – AR (более 1500)					

¹ – время; ² – слои. Цифры в скобках указывают длительность эр и периодов в миллионах лет.

Абсолютный возраст – это возраст горной породы, выраженный в годах, веках, тысячелетиях и т. д., определенный на основе *методов радиоактивных превращений химических элементов*, происходящий в горных породах. Суть метода состоит в определении соотношения в горной породе количества исходного радиоактивного элемента и полученного в результате превращения, а так же знаний о скорости, происходящих превращений.

Например, зная скорость превращения урана в свинец, по соотношению этих элементов в горной породе возможно определить ее возраст. Для определения *относительного возраста*, т.е. возраста пород относительно друг друга можно использовать *стратиграфический метод*, согласно которому слои более молодых горных пород всегда залегают в геологическом профиле ближе к поверхности земли, чем более старые слои. Данный метод применим только при ненарушенном залегании слоев, где выполняется это условие.

Информация о возрасте горных пород обязательно указывается на геологических картах и разрезах в виде определенных символов, индексов и цветового обозначения, указывающих к какому геологическому периоду развития Земли относится тот или иной слой горных пород (таблица 4).

1.3.2 Тектонические движения

Тектоническими движениями называют движения земной коры, обуславливающие изменения характеристик и условий залегания ее геологических структур.

Всю земную кору можно разделить на два вида тектонических структур – платформы и геосинклинали. *Платформы* – это устойчивые, жесткие и малоподвижные участки земной коры, для которых характерны равнинные формы рельефа, ненарушенное залегание слоев осадочных горных пород, практическое отсутствие сейсмических явлений. Тектонические движения проявляются в виде медленных вертикальных перемещений. *Геосинклинали* – это подвижные участки земной коры, расположенные на стыках платформ (как бы подвижные их соединения). В районах геосинклиналей наблюдаются хорошо выраженные проявления тектонических движений, высокая сейсмическая активность (землетрясения, моретрясения, вулканизм), характерен расчлененный и горный рельеф.

еф, происходят интенсивные процессы осадконакоплений и горообразовательные процессы.

Различают колебательные, складчатые и разрывные тектонические движения земной коры. *Колебательные движения* проявляются медленными поднятиями и опусканиями отдельных обширных по площади участков земной коры, которые не изменяют условий залегания горных пород, но существенно влияют на такие процессы как обмеление водоемов, формирование рельефа, размывание горных пород речным стоком и др. Средняя скорость современных колебательных движений составляет 3–5 мм/год, но может достигать 60 мм (например, прибрежная территория Нидерландов).

Залегание осадочных слоев горных пород в *ненарушенном состоянии* предполагает их горизонтальное, прямолинейное и параллельное друг другу расположение (рисунок 2). При возникновении *складчатых тектонических движений* земной коры первоначальная (ненарушенная) форма слоев и их пространственное положение изменяются (приобретают наклонное положение, сминаются в складки и т. д.) и возникают складчатые деформации (дислокации), выраженные различными видами (рисунок 3).

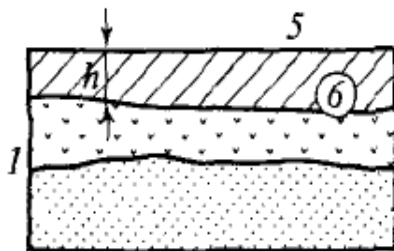


Рисунок 2 – Ненарушенное залегание слоев горных пород;
 h – мощность слоя

Данные деформации происходят без разрыва сплошности слоев.

В результате тектонических движений могут происходить деформации с разрывом сплошности слоев горных пород. Такие деформации называют *разрывными*. Разрывы могут происходить по одной или нескольким плоскостям, по которым происходит передвижение геологических слоев и они меняют свое положение друг относительно друга. Величина таких перемещений может достигать нескольких километров. В зависимости от количества

плоскостей разрыва и направления перемещения слоев различают несколько видов разрывных дислокаций. Характерные виды показаны на рисунке 4.

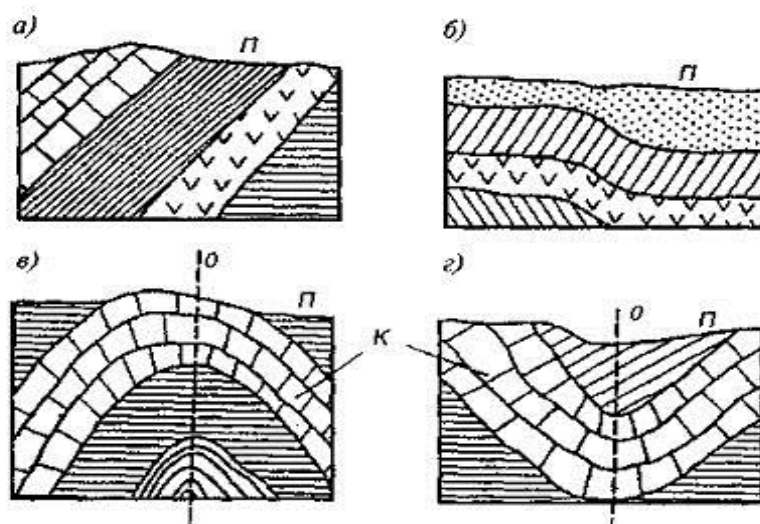


Рисунок 3 – Виды складчатых дислокаций:
а – моноклираль; *б* – флексура; *в* – антиклираль; *г* – синклираль;
П – поверхность земли; *О* – ось складки; *К* – крылья складки

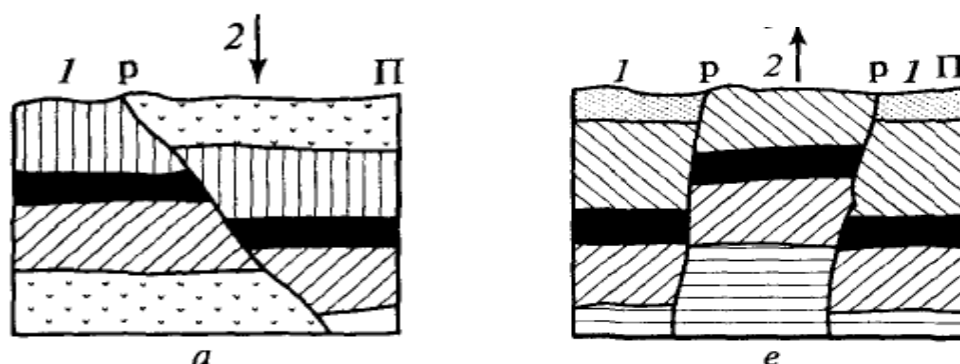


Рисунок 4 – Виды разрывных дислокаций:
а – сброс; *б* – горст; *П* – поверхность земли; *р* – плоскость разрыва;
И – неподвижная часть толщи; *2* – перемещающиеся слои;
 ↑ – направление перемещения

Установление пространственного положения слоев различных по свойствам горных пород необходимо для определения глубины заложения фундаментов сооружений, выбора несущего слоя для фундамента, оценки инженерно – геологических условий в районе строительства. Наличие дислокаций, как правило, существенно осложняет условия строительства или даже делает его нецелесообразным. Наиболее благоприятной является толща с однородными

по свойствам горными породами, не осложненная дислокациями, с большой мощностью слоев. Наличие различных по несущей способности пород в основаниях зданий и сооружений приводит к неравномерной осадке фундамента вследствие различной сжимаемости пластов, образования зон дробления в зоне складки и как следствие возникновению деформаций сооружений. Разрывные дислокации в основаниях сооружений, как правило, недопустимы, так как приводят к перемещению несущих слоев по плоскостям разрыва, циркуляции по ним подземных вод и снижению прочностных характеристик грунтов оснований.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о происхождении форме, размерах и строении Земли.
2. Что такое минералы? Расскажите об образовании минералов, связи химического и минерального состава земной коры. Ородообразующие минералы. Значение минералов и их использование в сельском хозяйстве и мелиорации земель.
3. Что такое горные породы? Классификация горных пород по происхождению. Магматические, осадочные, метаморфические горные породы
4. Охарактеризуйте формы залегания горных пород. Использование горных пород в гидромелиоративном и гидротехническом строительстве.
5. Опишите основные единицы геологической хронологии и соответствующие им толщи горных пород. Эры (группы), периоды (системы), эпохи (отделы), века (ярусы). Геологические индексы.

2 ГИДРОГЕОЛОГИЯ

2.1 Общие сведения о гидрогеологии

Гидрогеология – наука, изучающая подземные воды, их происхождение, условия залегания, динамику, физические и химические свойства, условия, определяющие мероприятия по использованию, охране и регулированию ресурсов подземных вод. Гидрогеология является частью геологии и изучает подземные воды на основе анализа истории развития земной коры в тесной связи с горными породами, слагающими литосферу, и ее структурными особенностями. Объект изучения гидрогеологии это гидрогеосфера – подземная геосфера – воды недр Земли.

Подземные воды имеют огромную область применения в современных условиях жизнедеятельности человека. Это, в первую очередь, источник хозяйственно– питьевого водоснабжения, источник химического сырья (добыча бора, натрия, магния, лития, хлора, брома, йода и др. химических элементов). Используются подземные воды в лечебных целях (минеральные воды). В теплоэнергетике используются геотермальные источники для строительства электростанций и отопления жилых районов населенных пунктов. Подземные воды в водохозяйственном строительстве имеют первостепенное значение, так как являются одним из основных источников водоснабжения, мелиорации и являются объектом природообустройства и природопользования.

2.1.1 Гидросфера и круговорот воды в природе

Общая площадь поверхности земного шара $510\,106\text{ км}^2$, из них воды Мирового океана занимают 70,8 %, остальная территория (29,2 %) представлена сушей, большая часть которой (более $117\,106\text{ км}^2$) является сточной, т. е. имеет сток воды в моря и океаны. Бессточные области не имеют стока в океаны и моря. Поступающая в эту область влага полностью расходуется на испарение и транспирацию. По валовым ресурсам воды в структуре гидросферы земли подземные воды занимают 2-е место (примерно 60 млн м^3) после вод мирового океана.

Влага на земном шаре находится в постоянном круговороте. Схема круговорота воды в природе представлена на рисунке 1. Она иллюстрирует образование за счет осадков поверхностного и под-

земного стоков, взаимосвязь между ними, движение их к океану и расход поверхностных вод на испарение и транспирацию с суши и с водной поверхности.

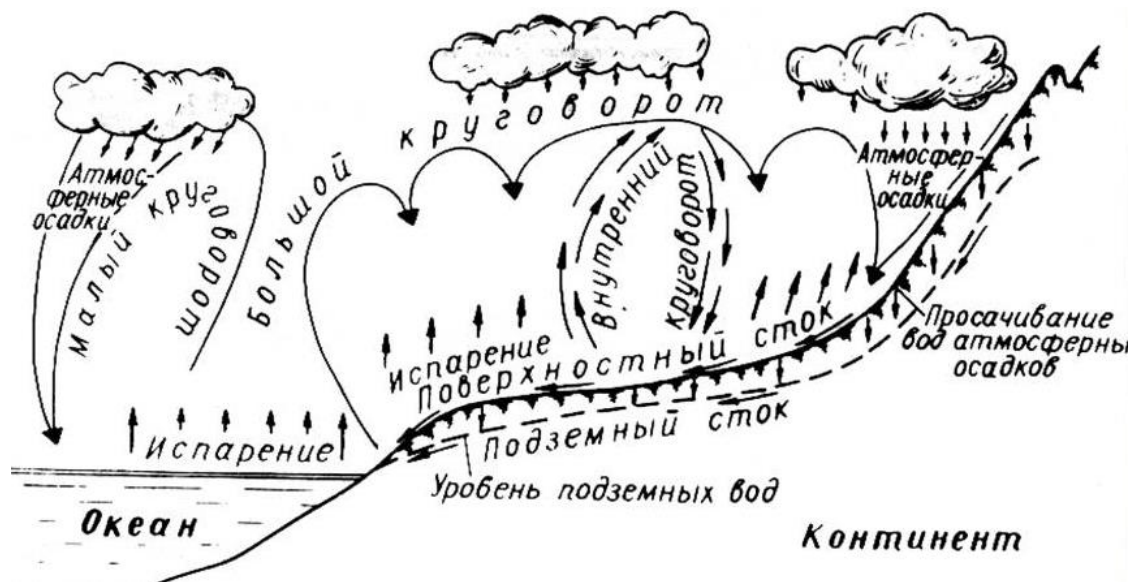


Рисунок 5 – Схема круговорота воды в природе

Различают большой и малый круговороты (рисунок 5). При *большом круговороте* влага, испаряющаяся с поверхности океанов, переносится в форме водяных паров воздушными течениями на сушу, выпадает здесь на поверхность в виде осадков, а затем возвращается в моря и океаны поверхностным и подземным стоком. При *малом круговороте* влага, испаряющаяся с поверхности океанов и морей, здесь же выпадает в виде осадков. Процесс круговорота в природе в количественном выражении характеризуется *водным балансом*, уравнение которого для замкнутого речного бассейна для многолетнего периода имеет следующий вид:

$$X = Y + Z \pm \Delta W, \text{ мм},$$

где x – осадки на площади водосбора, мм;

y – речной (поверхностный) сток, мм;

z – испарение за вычетом конденсации, мм;

ΔW – среднееголетнее питание глубоких водоносных горизонтов за счет осадков или поступление подземных вод из глубоких горизонтов на поверхность в пределах речного бассейна (подземный сток), мм.

Если речной бассейн не замкнут, уравнение водного баланса имеет более сложный вид за счет учета водообмена данного бассейна с соседними. Поверхностный и подземный сток в сумме образуют полный речной сток. Подземный сток и суммарное испарение составляют увлажнение территории, равное разности осадков и поверхностного стока. От этой разности зависит интенсивность питания подземных вод. В результате изменчивости метеорологических условий и хозяйственной деятельности человека статьи водного баланса для отдельных территорий значительно меняются по годам и в многолетнем разрезе. Например, в Индии (Черапунджи) годовая норма осадков составляет примерно 11000 мм (максимум зафиксированный в 1947 г. составил 24 326 мм, минимум – в 1962 г. – 6847 мм). В пустынях же тропического пояса (экстрааридные районы) годовые нормы осадков не превышают 30–50 мм, в отдельные годы осадков вообще не бывает. Испарение с водной поверхности здесь может превышать 4000–5000 мм в год.

Изучение водного баланса, отдельных территорий или всей земной поверхности в целом необходимо для преобразования круговорота воды и увеличения ее ресурсов для целей мелиорации и водоснабжения.

2.1.2 Виды воды в горных породах и водные свойства горных пород

В горных породах выделяют следующие виды воды. *Паробразная* – находится в форме водяного пара в воздухе, присутствующем в порах и трещинах горных пород и в почве, передвигается вместе с токами воздуха, а также от участков с высокой абсолютной упругостью водяного пара к участкам с более низкой упругостью. При определенных условиях путем конденсации может переходить в жидкую форму. Парообразная вода – единственный вид, способный передвигаться в породах при незначительной их влажности. *Связанная* вода присутствует главным образом в глинистых породах, удерживается на поверхности частиц силами, значительно превышающими силу тяжести. Подвижность ее несравненно меньше подвижности свободной воды. *Капиллярная* вода находится в капиллярах – порах и трещинах горных пород, где удерживается и передвигается под влиянием капиллярных (менисковых) сил, действующих на границе воды и воздуха находящегося в по-

рах пород. Капиллярная вода находится в породах в виде влаги капиллярной каймы над уровнем грунтовых вод в интервале влажности от наименьшей влагоемкости (НВ) до полной влагоемкости (ПВ). В зависимости от гранулометрического состава породы мощность капиллярной каймы изменяется от 0 в галечнике и гравии до 4–5 м в глинистых породах. Положение верхней границы капиллярной каймы меняется при колебаниях уровня грунтовых вод. Капиллярная вода доступна для растений. *Гравитационная* вода передвигается по порам грунта под действием силы гравитации. Как в водопроницаемых грунтах зоны аэрации так и в водо- непроницаемых водоносных горизонтах эти воды насыщают грунт от уровня наименьшей до полной влагоемкости. Гравитационная – основной вид воды в горных породах, рассматриваемый при изучении гидрогеологии. *Кристаллизационная* вода входит в состав кристаллической решетки минералов, например гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), сохраняет молекулярную форму. Вода в твердом состоянии – содержится в горных породах в форме льда.

Физические свойства горных пород, такие как гранулометрический состав, плотность, пористость, структура, текстура, влажность, влагоемкость, водопроницаемость и др. подробно изучаются в курсе «Грунтоведение». В данном учебном пособии рассмотрим те водно– физические свойства, от которых в наибольшей степени зависят характеристики подземных вод и на которые в свою очередь подземные воды оказывают определяющее значение.

Водопроницаемость – это способность горных пород пропускать через себя воду. Она обусловлена наличием в породах пустот (пор). Водопроницаемость тем выше, чем больше пористость породы (суммарный объем пор). Галечники, гравий, крупные и средние пески, трещиноватые скальные породы обладают высокой водопроницаемостью. Глины, неветрелые скальные породы являются условно водонепроницаемыми. К полупроницаемым породам относятся суглинки, лесс, глинистые пески, мергели. Абсолютно водонепроницаемых пород нет. Вода в земной коре нередко находится под значительным напором (градиентом) и может просачиваться даже через толщу глин. Показателем водопроницаемости породы служит коэффициент фильтрации K_f , м/сут, который показывает скорость движения воды через грунт при градиенте напора $I = 1$ и температуре воды 10 °С. Значение коэффициента

фильтрации в зависимости от физических свойств пород варьирует в очень широких пределах и для водонепроницаемых плотных глин составляет 0,001 м/сут, тогда как для галечников и сильно трещиноватых скальных пород до 1000 м/сут (таблица5).

Таблица 5 – Коэффициент фильтрации горных пород

Разновидность грунтов	Коэффициент фильтрации K_f , м/сут
Торф	0,01–4
Глина	0,001– 0,01
Суглинок	0,01– 0,1
Супесь	0,1– 0,5
Пески: пылеватый	0,5–1,0
мелкозернистый	1–5
среднезернистый	5–15
крупнозернистый	15–50
Песчано-гравийная смесь	50–100
Гравий	100–200

Коэффициент фильтрации является одной из основных характеристик при выполнении расчетов по оценке геологических и гидрогеологических условий территории и определению параметров водохозяйственных сооружений.

Влагоемкость – это способность пород вмещать и удерживать в пустотах определенное количество воды. Она выражается в процентах и является отношением массы влаги, заключенной в пустотах, к массе сухой породы или отношением объема воды, заключенной в пустотах, к общему объему породы. Различают следующие виды влагоемкости: *полную* или наибольшую влагоемкость (ПВ) – наибольшее количество связанной, капиллярной и гравитационной воды, которое может содержаться в породе при заполнении всех пустот; *капиллярную* влагоемкость (КВ) – наибольшее количество капиллярной влаги, которое может содержаться в породе

при полном заполнении всех капиллярных пор. Величина переменная, зависит от высоты слоя, для которого она определяется, над уровнем свободной воды; *наименьшую* влагоемкость (НВ) – наибольшее количество подвешенной воды, которое может прочно удерживаться однородной неслоистой породой; *максимальную молекулярную* влагоемкость (ММВ) – количество связанной воды, которое может быть удержано в породе под воздействием поверхностных сил притяжения. Наибольшей максимальной молекулярной влагоемкостью обладают глинистые породы; *максимальную гигроскопичность* (МГ) – наибольшее количество прочносвязанной воды, которое порода может адсорбировать из воздуха, насыщенного водяными парами. Влагоемкость пород определяют в лабораторных условиях.

По степени влагоемкости горные породы делят на очень влагоемкие (глины, торф, суглинки и др.), слабовлагоемкие (лессовидные породы, супеси, мелкозернистые пески, рыхлые песчаники и др.) и практически невлагоемкие (галечник, гравии, крупные и средние пески, скальные породы и др.).

Водопроницаемость характеризует способность водоносного пласта мощностью m и шириной 1 м пропускать воду в единицу времени при напорном градиенте, равном единице. Водопроницаемость T равна произведению коэффициента фильтрации на мощность водоносного пласта и выражается в квадратных метрах в сутки.

$$T = K_f \cdot m, \text{ м}^2/\text{сут}$$

Водопроницаемость используют при расчете эксплуатационных и дренажных скважин. Чем больше T , тем перспективнее водоносный пласт с точки зрения использования его для орошения или водоснабжения. При $T < 100 \text{ м}^2/\text{сут}$ водоносный горизонт становится малоперспективным для использования в целях орошения или для устройства вертикального дренажа. Водопроницаемость в условиях установившейся фильтрации может быть определена по данным опытных откачек из совершенных скважин (полностью вскрывающих водоносный горизонт).

Водоотдача – способность пород насыщенных водой отдавать гравитационную воду в виде свободного стока. Коэффициентом

гравитационной водоотдачи называют отношение объема стекшей воды, ранее заполнявшей пустоты, к объему всей породы; выражается обычно в долях единицы объема и является переменной величиной. Используют различные методы определения коэффициента водоотдачи: основанные на определении различных видов влагоемкости; в лабораторных приборах – путем насыщения породы (песков) и слива воды; полевыми наблюдениями за изменениями влажности пород зоны аэрации по разности полной влагоемкости и средней объемной влажности в зоне перемещения верхней границы капиллярной каймы; на основе анализа колебаний уровня грунтовых вод с использованием уравнений неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях; по материалам опытных откачек подземных вод из скважин.

Ориентировочные значения гравитационной водоотдачи некоторых пород (в долях единицы объема): песков гравелистых и крупнозернистых – 0,25–0,35, среднезернистых – 0,2–0,25, мелкозернистых – 0,15–0,2, тонкозернистых и супесей – 0,1–0,15, суглинков – менее 0,1. Водоотдача глин близка к нулю, а торфа может изменяться от 0,05 до 0,1–0,15. Водоотдача песчаников на глинистом цементе – 0,02–0,03, трещиноватых известняков – 0,008–0,1.

2.2 Происхождение и классификация подземных вод

2.2.1 Происхождение подземных вод

Подземные воды в верхней части земной коры образуются путем инфильтрации – просачивания атмосферных, речных и других вод по крупным порам в породах не насыщенных водой. Инфильтрующиеся воды накапливаются в грунтовых горизонтах, подстилаемых водонепроницаемыми и мало – водопроницаемыми породами (водоупорами) и образуют постоянные или временные водоносные горизонты. Количество инфильтрующихся вод (инфильтрационное питание) зависит, в основном, от климатических факторов: рельефа, механических свойств фильтрующих грунтов, деятельности человека.

По происхождению подземные воды делятся на инфильтрационные, конденсационные, седиментационные и воды магматического и метаморфического происхождения. *Инфильтрационные*

воды образуются в результате просачивания с поверхности земли осадков и поверхностных вод в пустоты горных пород. Эта группа составляет основную часть подземных вод, содержащихся в земной коре. *Конденсационные воды* образуются при конденсации водяного пара, перемещающегося под влиянием разности упругости его из атмосферы в горные породы или внутри горных пород – от одного участка к другому. Конденсационное питание подземных вод недостаточно изучено. В некоторых физико– географических условиях, например в высокогорных районах, оно имеет существенное значение, но по сравнению с инфильтрационным питанием мало. *Седиментационные воды* образуются за счет вод водоемов, в которых происходило накопление осадочных пород. Это погребенные воды, сохранившиеся в глубоких частях закрытых гидрогеологических и нефтегазоносных структур, отличаются высокой минерализацией и представляют интерес как сырье для химической промышленности и как лечебные минеральные воды. *Воды магматического и метаморфического происхождения (ювенильные)* образуются при извержении и застывании магмы, а также выделяются при метаморфизации минералов и горных пород.

2.2.2 Зоны аэрации и водонасыщения

Зона аэрации – это слой водопроницаемых грунтов, расположенных выше водонасыщенных грунтов первого от поверхности земли водоносного горизонта (рисунок 2). Мощность его равна глубине залегания уровня грунтовых вод, и поскольку эта глубина изменчива во времени, то и мощность зоны аэрации непостоянна. Непосредственно над уровнем грунтовых вод располагается капиллярная влага в форме каймы. В зоне аэрации может быть распространена парообразная, гигроскопическая, пленочная, подвешенная, капиллярная, гравитационная и твердая вода. Подпитка грунтовых вод поверхностными, атмосферными и другими инфильтрующимися водами, происходит через водопроницаемые грунты зоны аэрации.

Зона водонасыщения – это грунтовые горизонты в рыхлых породах все поры, которых полностью заполнены водой, кроме пор, занятых заземленным воздухом. Зона насыщения может быть однородна по составу и возрасту водовмещающей породы или же разнородна. В последнем случае в зоне насыщения находится не-

сколько водоносных горизонтов (рисунок 6). *Водоносным горизонтом* называют пласт, содержащий гравитационную воду. Им может быть любая пористая или трещиноватая порода. Водоносный горизонт подстилается водоупором, или *водоупорным пластом*, который является водонепроницаемым или слабоводопроницаемым. Водоупором являются глины, глинистые сланцы, нетрещиноватые изверженные и другие породы. Зона насыщения представлена одним или несколькими водоносными комплексами. *Водоносный комплекс* – это выдержанная в вертикальном разрезе и имеющая региональное распространение водонасыщенная толща одно– или разновозрастных и разнородных по составу пород, сверху и снизу ограниченная выдержанными водоупорными, или слабоводопроницаемыми, пластами, которые исключают или затрудняют гидравлическую связь данного комплекса со смежными.

2.2.3 Классификация подземных вод

Поскольку подземные воды являются сложным и многофакторным природным объектом, существует множество разнообразных признаков, по которым их классифицируют. Рассмотрим основные классификации, наиболее часто используемые в практических и научно – исследовательских целях. По возрасту водовмещающих пород различают воды *каменноугольных, четвертичных отложений*, по происхождению этих пород – воды *аллювиальных отложений, флювиогляциальных* и др. В практических и научных целях часто используется химическая классификация подземных вод, основными параметрами которой служат степень минерализации и химический состав воды. Химическая классификация будет подробно рассмотрена ниже.

По характеру использования подземные воды делят на *хозяйственно – питьевые*, как источник хозяйственно – питьевого водоснабжения. Пресные подземные воды по своим качественным характеристикам часто бывают более пригодны для питьевых целей, чем воды поверхностных водоисточников. В последнее время все большее распространение получают так же солоноватые и соленые воды, которые используют в хозяйственно – питьевых целях после опреснения. Воды, содержащие полезные для организма человека соли и микроэлементы используют в лечебно – профилактических целях (минеральные воды). *Технические* воды применяют для раз-

личных целей в промышленном и сельскохозяйственном производстве. Многие технологические процессы производства требуют использования большого количества воды. *Промышленные* воды используют для добычи химических элементов, используемых в отдельных видах производства (бром, йод и др.). Как правило, такие подземные воды имеют высокую степень минерализации (50 г/л и более).

По условиям залегания в земной коре (рисунок 6) различают *верховодки* – временные (сезонные) скопления воды в зоне аэрации (зона между поверхностью земли и поверхностью грунтовых вод, сложенная водопроницаемыми грунтами). Образование верховодок обусловлено интенсивной инфильтрацией (естественной или техногенной). Например за счет обильных осадков, снеготаяния, поливов на сельскохозяйственных землях, в следствии утечек воды из водонесущих коммуникаций (водопроводы, коллекторы и др.).

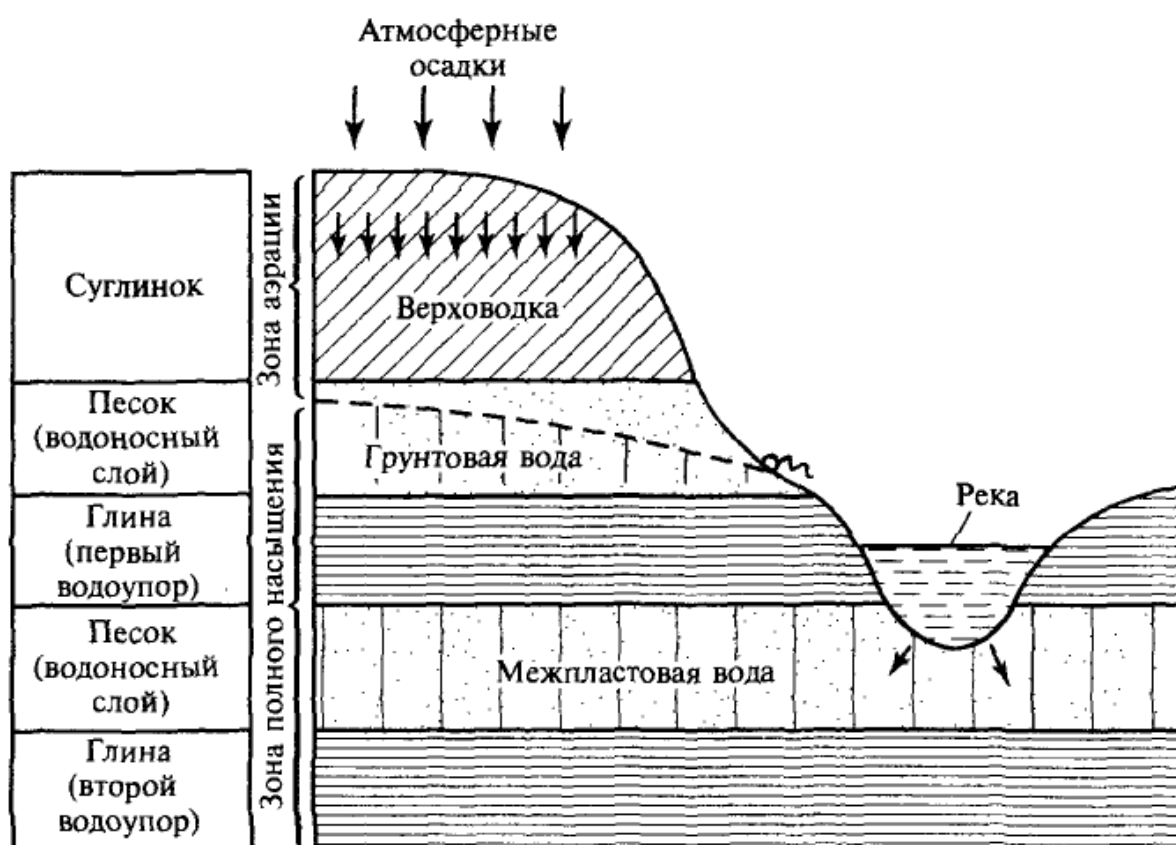


Рисунок 6 – Классификация грунтовых вод по условиям залегания в земной коре

Инфильтрующиеся воды накапливаются на линзах маловодопроницаемых пород, встречающихся в пределах зоны аэрации и образуют временные водоносные горизонты. Для верховодок, так же характерны малая мощность, безнапорность и небольшая площадь распространения. Верховодки по продолжительности существования химическому составу воды весьма разнообразны в зависимости от характера источника питания и водосодержащих пород, климатических условий. Чаще всего верховодки носят сезонный характер (возникают весной и исчезают осенью) вследствие испарения и транспирации. Из-за частой загрязненности, а в аридных областях из-за повышенной минерализации верховодка в большинстве случаев не является надежным источником водоснабжения. Несмотря на временный характер существования они могут существенно затруднить или ухудшить условия хозяйственной деятельности на территории, где возникают, поскольку являются причиной подтопления и переувлажнения земель, снижения прочностных характеристик грунтов оснований сооружений.

Грунтовые воды – постоянные, значительные по площади распространения горизонты подземных вод, залегающие на первом от поверхности земли (ПЗ) водоупоре (рисунок 6). Поверхность грунтовых вод (зеркало) свободная, то есть не перекрытая сверху водонепроницаемыми горизонтами. Давление на поверхности грунтовых вод равно атмосферному. Это обуславливает значительную изменчивость во времени положения уровня грунтовых вод (УГВ) относительно поверхности земли. На положение УГВ влияют в первую очередь климатические факторы (осадки, испарение), гидрологические и гидрографические условия территории, характер рельефа и водовмещающих горных пород, мощность и взаимное расположение водоупорных и водоносных горизонтов, хозяйственная деятельность человека. Количественные показатели изменения положения УГВ и влияющие на них факторы будут подробно рассмотрены ниже. Например, на землях интенсивного сельскохозяйственного производства (орошение) изменения положения УГВ за короткие промежутки времени (в пределах нескольких суток) может составить 1–2 м, а в пределах длительного времени наблюдения (10–15 лет) – 5–10 м. Так же очень значительны колебания этого показателя в пространстве. В абсолютных значе-

ниях положение УГВ относительно поверхности земли (расстояние от ПЗ до УГВ) в пространстве может меняться от 0 до 50 м и более.

Грунтовые воды, в большинстве случаев, имеют направленное движение (поток грунтовых вод). Движение фильтрующихся вод происходит под действием гравитационной силы в направлении общего уклона залегания водоупора. В некоторых случаях вода находится в неподвижном состоянии, когда накапливается в пониженных участках водоупорного горизонта (грунтовый бассейн). Питание грунтовых вод (пополнение водой водоносных горизонтов) в естественных условиях происходит в основном за счет инфильтрации осадков и поверхностных вод. Техногенными факторами пополнения могут быть оросительные воды, утечки из коллекторно – дренажной сети, сети водоснабжения и др. Качество и химический состав грунтовых вод во многом зависит от характеристик воды, подпитывающей водоносные горизонты. По степени минерализации (засоленности) грунтовые воды в основном пресные, иногда солоноватые или соленый. По химическому составу чаще всего – гидрокарбонатно– кальциевые, сульфатные или сульфатно – хлоридные. Близко расположенные от поверхности земли грунтовые воды с высокой степенью минерализации могут стать причиной засоления на землях сельскохозяйственного использования, что в свою очередь обуславливает снижение их хозяйственной ценности и даже нецелесообразности дальнейшего использования.

Таким образом, в водохозяйственном строительстве грунтовые воды имеют исключительно важное значение, так как являются одним из самых важных источников водоснабжения. С другой стороны, они могут существенно затруднить или ухудшить условия строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, так как могут служить причиной подтопления, заболачивания и засоления земель.

Межпластовыми водами – называются водоносные горизонты, залегающие между двумя слабопроницаемыми пластами (рисунок 6). В отличие от грунтового водоносного горизонта, верхней границей которого является свободная поверхность подземных вод, межпластовые горизонты всегда имеют слабопроницаемую (водоупорную) кровлю и подошву. В геологических структурах, сложенных слоистыми осадочными отложениями, межпластовые воды распространены на глубинах примерно от 10 м до 7 км и на

глубинах, предположительно до 15–20 км в глубоких платформенных структурах сложенных осадочными породами. Межпластовые воды, в зависимости от характера залегания бывают безнапорными и напорными (артезианскими). *Безнапорные* воды связаны, в основном, с горизонтальными водоносными горизонтами и могут быть частично или полностью заполнены водой. Встречаются межпластовые безнапорные горизонты подземных вод достаточно редко. *Напорные (артезианские)* воды расположены в водоносных горизонтах, имеющих синклиналиную (рисунок 7) или моноклиналиную форму залегания. Площадь распространения артезианских напорных горизонтов называют *артезианским бассейном*. Напор подземных вод (пьезометрический напор) создается за счет разницы высотных отметок отдельных частей водоносных пластов (рисунок 7). В пределах артезианского бассейна условно выделяют области питания, напора (распространения) и разгрузки. Область питания водоносных горизонтов находится там, где они выходят на поверхность и имеют наибольшие отметки высотного положения. Как правило, область питания не совпадает с площадью распространения межпластовых вод. Разгрузка напорных вод возможна искусственным путем через водозаборные скважины при их длительной эксплуатации.

Величина напора подземных вод называется *пьезометрическим уровнем* (рисунок 7), высотное положение которого зависит от характера залегания водоносного слоя. В случае, когда пьезометрический уровень находится выше поверхности земли вскрытие (бурение скважины) верхнего над водоносным горизонтом водупорного слоя приводит к образованию фонтанов, выходящих через скважину артезианских вод.

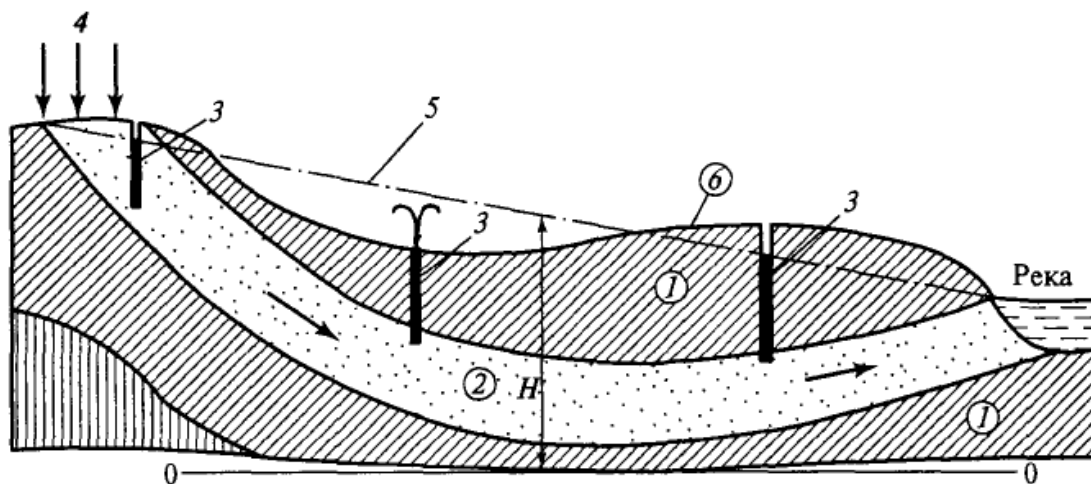


Рисунок 7 – Схема залегания артезианских вод при синклинальном расположении пластов:

- 1 – водоупор; 2– водоносный горизонт; 3 – скважина, 4 – область питания артезианского бассейна; 5 – пьезометрический уровень; 6 – поверхность земли; H – пьезометрический напор

При синклинальном залегании пластов создаются наиболее благоприятные условия для образования пьезометрического напора. При моноклинальном залегании напор создается за счет резкого изменения их водопроницаемости или выклинивания.

При использовании артезианских вод для водоснабжения наиболее пригодным считается первый от поверхности земли напорный горизонт, содержащий слабоминерализованные воды. Химический состав и минерализация воды изменяются с глубиной. Многие артезианские бассейны имеют огромную площадь распространения (до нескольких сотен тысяч квадратных километров) и являются важным источником водоснабжения, имея высокую водообильность и в большинстве случаев хорошее качество воды.

Кроме выше перечисленных, по условиям залегания так же различают *трещинные* и *карстовые* воды, залегающие в массивах скальных трещиноватых пород и карстовых пустотах, а также *подземные воды вечной мерзлоты*, контактирующие или непосредственно содержащиеся в слоях многолетнемерзлых горных пород.

2.3 Физические и химические и свойства подземных вод

Подземные воды представляют собой сложную систему, состав, состояние и свойства которой в каждом конкретном случае определяются: 1) свойствами самой воды; 2) свойствами, содержа-

щихся в ней веществ; 3) условиями взаимодействия их между собой и с окружающей средой. В подземных водах всегда присутствуют минеральные, органические вещества, газы и живое вещество. Твердые, жидкие и газообразные вещества могут содержаться в подземных водах в различных формах и иметь различный изотопный состав. Физические и химические свойства подземных вод являются важнейшими показателями качества, и их оценка необходима при любых гидрогеологических исследованиях. При использовании подземных вод в хозяйственно–питьевых целях или для целей орошения оценка соответствия их существующим нормам и государственным стандартам является обязательной.

2.3.1 Показатели физических свойств подземных вод

Прозрачность. Наличие взвесей (мутность) является редким для подземных вод, поэтому обычно для их оценки с этой точки зрения пользуются показателем прозрачности, величина которого обратна мутности. При ориентировочной оценке прозрачность выражается предельной высотой столба воды (см) в градуированном цилиндре с плоским дном, при которой возможно чтение стандартного шрифта, расположенного на расстоянии 4 см от дна цилиндра (прозрачность по шрифту). Более точно оценка прозрачности (мг взвеси на 1 дм³) проводится фотометрическим путем сравнения со стандартными эталонными суспензиями каолина. Вода, используемая для хозяйственно – питьевого водоснабжения, должна иметь прозрачность по «шрифту» не менее 30 см по стандартной шкале — не более 1,5 мг/дм³. Для визуального определения степени мутности или прозрачности воды употребляют термины: *прозрачная, слабоопалесцирующая, опалесцирующая, слегка мутная, мутная и сильно мутная.*

Цветность. Подземные воды обычно бесцветны. Окраску от слабо – желтой до бурой придают воде гуминовые и фульвокислоты, а также их растворимые соли, в первую очередь гуматы и фульваты окисного железа. Зеленоватую или красноватую окраску имеют воды, обогащенные соответствующими микроорганизмами, например водорослями, зеленовато–голубую – закисным железом или сероводородом. Цветность определяют фотометрически в градусах цветности по шкале стандартных растворов (смесь бихромата калия и сульфата кобальта), имитирующих цвет природной во-

ды. Цветность, обусловленная фульвокислотами, может достигать 3000° и более.

Запах и вкус воды зависят от содержания в ней газов, минеральных и органических веществ (в том числе продуктов жизнедеятельности микроорганизмов) и могут быть как естественного, так и искусственного генезиса. Определение интенсивности запаха и вкуса проводится органолептически при температурах 20 и 60 °С и оценивается по пятибалльной системе (0 – нет, 1 – очень слабая, 2 – слабая, 3 – заметная, 4 – отчетливая, 5 – очень сильная). Запах определяют в соответствии с ощущениями (гнилостный, землистый, хлорный и т. д.). Для вкуса существуют четыре основных определения: соленый, кислый, сладкий, горький. Все другие виды вкусовых ощущений называются привкусами и уточняют основные понятия, например металлический, содовый и др. Вкусовые качества воды, важные для ее использования в питьевых целях, определяют предельно допустимые концентрации некоторых элементов, нормируемые ГОСТом. Например, при концентрации хлоридов натрия до 500 мг/л вода имеет сладковатый привкус, при содержании более 500 мг/л – солоноватый. При концентрации сульфатов более 500 мг/л появляется неприятный горьковатый привкус, при концентрации железа более 0,3 мг/л появляется терпкий или чернильный привкус и т.д. Гидрокарбонаты кальция и магния, а также свободная углекислота придают воде приятный свежий привкус.

Температура подземных вод колеблется в очень широких пределах зависит от глубины их залегания, геологического строения территории, климатических условий и др. В гумидной (перевлажненной) зоне она обычно составляет 3...10 °С, в аридной зоне – до 12° и более. Артезианские воды могут достигать температуры 90...100°С и более. По температуре (в °С) воды подразделяются на следующие виды: переохлажденные < 0, холодные 0 – 20, теплые 20...37, горячие 37...50, весьма горячие 50...100, перегретые > 100.

Плотность чистой воды при 25 °С и давлении 101,325 кПа составляет 0,99797 г/см³, она меняется в зависимости от температуры, давления, количества растворенных, взвешенных веществ и газов. Плотность подземных вод с высокой степенью засоления (минерализации) может достигать 1,5 г/см³. Определение плотности воды всегда проводят при точно измеренной температуре (ориен-

тировочно – с помощью ареометра, точно – весовым методом) и затем с помощью температурных коэффициентов для электролитов – аналогов пересчитывают на температуру воды в пласте.

Вязкость (внутреннее сопротивление частиц воды ее движению) имеет большое значение для процесса фильтрации, особенно в слабопроницаемых породах. Единицей динамической вязкости в системе СИ служит 1 паскаль/секунда (1 Па/с) – вязкость такой среды, в которой при давлении сдвига 1 Па разность скоростей ламинарного движения жидкости на расстоянии 1 м составляет 1 м·с. Вязкость воды уменьшается с повышением температуры.

Электропроводность. Подземные воды в зависимости от количества растворенных в них солей обладают различной электропроводностью, которая колеблется от $3 \cdot 10^{-5}$ до $3 \cdot 10^{-3}$ Ом·м для пресных вод и возрастает до $5 \cdot 10^{-3}$ – $1,2 \cdot 10^0$ Ом·м в рассолах.

Радиоактивность подземных вод определяется содержанием в них растворенных соединений урана, радия, а также инертных газов: нерадиоактивного гелия и радона, являющегося эманацией радия. Единицей радиоактивности в системе СИ является беккерель (Бк) – активность нуклида 1 распад в 1 с. Радиоактивные свойства подземных вод по отношению к объему принято выражать в удельных единицах. Подземные воды могут содержать значительные количества радона – от 1–30 в кислых магматических породах и иногда осадочных породах до 150 тыс. Бк/дм³ в зоне окисления урановых месторождений. Радиоактивность подземных вод, содержащих уран и радий, всегда связана с содержанием их в водовмещающих породах, поэтому максимальной радиоактивностью характеризуются воды кислых магматических пород, а наименьшей — осадочных пород, если последние не содержат вторичных или переотложенных радиоактивных минералов. Употребление воды, содержащей радий, недопустимо, поскольку он накапливается в человеческом организме.

2.3.2 Химический состав подземных вод, параметры и методы его выражения

Вода является универсальным растворителем, поэтому в подземных водах содержатся практически все наиболее распространенные в природе химические элементы периодической системы Менделеева. Эти компоненты поступают в подземные воды из гор-

ных пород, атмосферы и с поверхностными водами. Химический состав воды устанавливается путем анализа проб, отобранных из скважин и родников. Тип химического состава подземных вод зависит от содержания ионов кальция, магния, натрия, хлора, сульфатного, гидрокарбонатного и др. Кроме содержания этих ионов и массовой концентрации сухого остатка в воде, при анализе определяют водородный показатель воды, ее жесткость, агрессивность, а в некоторых случаях – содержание железа, коллоидов, газов, микрокомпонентов, органических веществ, бактериологический состав и т. д.

Важным показателем химических свойств воды служит *минерализация* – сумма минеральных веществ, полученных при химическом анализе, выраженная в миллиграммах на литр (мг/л). *Сухой остаток* – общая масса веществ, полученная после выпаривания профильтрованной воды и последующего высушивания осадка, выражаемая в миллиграммах на литр (мг/л). Все нормативы ГОСТа на общее содержание растворенных в воде веществ ориентированы на величину сухого остатка. Этот показатель в природных водах изменяется от нескольких десятков миллиграммов до нескольких сотен (600–700) граммов на литр. Классификация засоленности подземных вод приведена в приложении 1. Пресные воды преимущественно гидрокарбонатного или сульфатно – гидрокарбонатного состава, слабосоленоватые – гидрокарбонатно – сульфатного, сильно соленоватые – сульфатного или хлоридно – сульфатного, соленые – сульфатно – хлоридного или хлоридного, сильно соленые и рассолы – преимущественно хлоридного состава.

Водородный показатель (рН) характеризует активность или концентрацию ионов водорода в растворах; численно он равен отрицательному десятичному логарифму активности или концентрации ионов водорода. От содержания ионов водорода и гидроксида зависят соответственно *кислотные* и *щелочные свойства* воды. В химически чистой воде они содержатся в равных количествах, поэтому такая вода нейтральна, ей соответствует $pH = 7$; при $pH < 7$ – воды считаются кислыми; если $pH > 7$ – воды щелочные. Полная классификация воды по водородному показателю приведена в приложении 1. Щелочные грунтовые воды, будучи связаны с натрием, при неглубоком залегании уровня могут вызывать в

аридных областях содовое засоление почв, наиболее вредное для культурных растений.

Жесткость воды обусловлена наличием ионов кальция и магния. Жесткость бывает общая (сумма карбонатной соли $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ и некарбонатной соли CaSO_4 и MgSO_4 и CaCl_2 и MgCl_2), временная, или устранимая, (бикарбонаты кальция и магния, переходящие при кипячении в слаборастворимые карбонаты и выпадающие в осадок). Разность между общей и устранимой жесткостью соответствует постоянной жесткости. По ГОСТ жесткость воды выражают в миллиграмм– эквивалентах Ca^{2+} и Mg^{2+} на 1 л воды. Один миллиграмм – эквивалент жесткости соответствует содержанию 20,04 мг/л Ca^{2+} и 12,6 мг/л Mg^{2+} . Полная классификация воды степени жесткости приведена в приложении 1.

Существует несколько форм выражения химического анализа воды: ионная, эквивалентная, процентно– эквивалентная. При ионной форме содержание ионов приводят в миллиграммах на литр (мг/л). Эквивалентная форма позволяет судить о возможных сочетаниях катионов и анионов. При процент– эквивалентной форме содержание ионов, взятое в эквивалентах, выражают в процентах от суммы катионов и анионов, принимаемых каждая за 100 %. Эта форма удобна для сопоставления вод различной минерализации и выявления соотношений ионов. В качестве исходных данных для этих расчетов используются результаты лабораторного анализа образцов воды, выраженные в следующей форме (таблица 6).

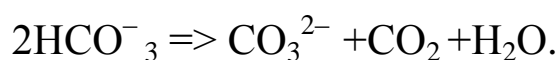
Таблица 6 – Результаты химического анализа подземных вод

Водородный показатель рН	Температура, °С	Содержание основных ионов, мг/л					
		HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}

На основании этих результатов по водородному показателю определяют наименование воды. Классификация воды по степени рН приведена в приложении 1.

Далее вычисляют погрешность химического анализа подземной воды, определяют ее класс, группу, наименование по класси-

фикации Щукарева, записывают состав воды в виде формулы солевого состава. Теоретически суммы анионов и катионов, выраженные в мг– экв форме должны быть равны, поэтому для определения погрешности пересчитывают данные анализа из мг/л в мг– экв/л, используя пересчетные коэффициенты (приложение Б). Выражают химический состав воды в процент – эквивалентной форме, приняв суммы анионов и катионов за 100 % каждую и записывают в следующую графу таблицы (таблица 7). В связи с тем, что при анализе воды сухой остаток не определялся, вычисляют его приближенно. При выпаривании все негазообразные вещества, кроме гидрокарбонат – иона переходят в сухой остаток. Гидрокарбонат – ион распадается по уравнению:



При этом в виде диоксида углерода и паров воды теряется около 0,5 его массы. Экспериментально определенный сухой остаток всегда больше вычисленного (с учетом 0,5 HCO₃), иногда на 5–12 %. Учитывая это, общую минерализацию (сухой остаток) приближенно вычисляют по формуле:

$$M = (1,05-1,12)(0,5\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}).$$

Таблица 7 – Химический состав подземной воды мг – экв и %- экв форме

Анионы	Содержание			Катионы	Содержание		
	мг/л	мг– экв/л	%– экв		мг/л	мг– экв/л	%– экв
HCO ₃ ⁻				Na ⁺			
SO ₄ ²⁻				Ca ²⁺			
Cl ⁻				Mg ²⁺			

По классификации Щукрева (приложение В) определяют название воды и ее класс. Формулу солевого состава составляют в виде дроби, в числителе которой записывают анионный состав воды (% – экв) в убывающем порядке, а в знаменателе – катионный. Перед дробью записывают содержание газов и специфических элементов, если они имеются в воде и общую минерализацию *M*. В названии читаются первые два аниона, а затем первые два катиона.

При записи названия воды анионный и катионный состав пишут в форме дроби.

По химическому составу подземной воды определяют ее класс, группу и тип по классификации Алекина и номер воды по графику – квадрату Толстихина. Наименование воды по классификации Алекина и номер ее по графику – квадрату Толстихина (приложение Г) следует определять, выразив состав воды в % – экв форме.

Далее записывают результаты химического анализа воды в виде формулы Курлова, определяют виды жесткости и дают наименование воды, строят графическое изображение содержания химических элементов в процент– эквивалентной и миллиграмм– эквивалентной форме. Для этого результаты химического анализа выражают в миллиграмм– эквивалентной и процент – эквивалентной форме (таблица 7). Формула Курлова имеет вид дроби, в числителе которой записывают анионный состав воды в %– экв. в убывающем порядке, а в знаменателе – катионный. В формуле Курлова не записываются ионы, содержание которых менее 10%, в отличие от формулы солевого состава. Перед дробью записывают содержание газов и специфических элементов, если они имеются в воде и общую минерализацию M в г/л. После дроби указывают температуру воды и дебит источника или скважины, если эти данные имеются. Название воды записывают через дефис: сначала анионный, а затем катионный состав. По составленной записи дают название воды. Классификацию воды по общей минерализации и температуре определяют по приложение А. Общую жесткость определяют как сумму катионов кальция и магния, выраженную в мг– экв/л. По этому показателю воду классифицируют по жесткости (приложение А). Карбонатную жесткость определяют по содержанию гидрокарбонат – иона. Если содержание НСО_3^- в мг– экв/л $> \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, карбонатная жесткость равна общей, а некарбонатная (остаточная) отсутствует. Учитывая общую минерализацию, химический состав, содержание ионов водорода (рН), температуру и вычисленную жесткость окончательно дают воде наименование.

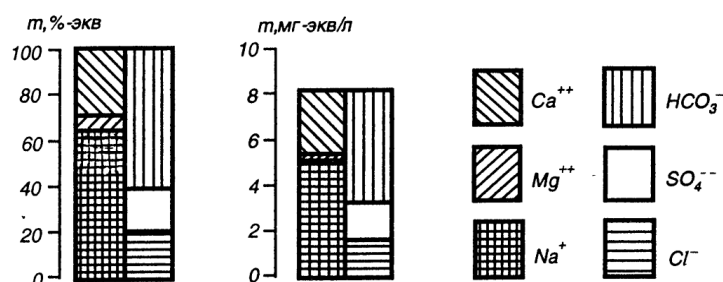


Рисунок 8 – Химический состав воды в графической форме

2.3.3 Факторы и процессы, определяющие химический состав подземных вод

Химический состав подземных вод отражает историю геологического развития земли, условия взаимодействия вод с горными породами, органическим веществом, микроорганизмами и газами, характер и интенсивность антропогенных воздействий на геологическую среду. Рассмотрим основные процессы и факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на химический состав и свойства подземных вод.

Выщелачивание и растворение – процесс перехода в раствор какого либо (выщелачивание) или всех (растворение) элементов из минерала. В первом случае кристаллическая решетка минерала не разрушается, во втором происходит разрушение кристаллической решетки. Выщелачивание осадочных пород наиболее интенсивно происходит в верхней части земной коры с глубоким расчленением рельефа гидрографической сетью. Выщелачивания в первую очередь связано с инфильтрацией атмосферных осадков, имеющих небольшую минерализацию и вод поверхностного стока. В процессе выщелачивания в воду переходят легкорастворимые соли натрия, магния и кальция. Интенсивность выщелачивания во многом зависит от литологических особенностей вмещающих пород, в связи с этим интенсивность и степень минерализации вод в различных породах существенно отличаются друг от друга. Существенное влияние на химический состав вод оказывает засоленность пород. При наличии в породах NaCl в процессе растворения и выщелачивания образуются фоды хлоридно–натриевого состава, Na₂SO₄•10H₂O – сульфатно–натриевого, CaSO₄•2H₂O – сульфатно–кальциевого. Магматические породы, как правило, недоступны непосредственному выщелачиванию и сначала подвергаются химическому выветриванию, например гидролизу в алюмосиликатах, или образо-

ванию кремнезёма и карбонатов магния в оливинах и роговых обманках.

Смешение вод с различной общей минерализацией и неодинаковым химическим составом – один из наиболее распространенных факторов формирования состава подземных вод. В результате смешения образуются воды с отличными от исходных физико-химическими характеристиками, нередко сопровождается выпадением карбонатов Ca, Mg, Fe. Смешение является сложным физико-химическим процессом, в каждом конкретном случае, имеющим свои индивидуальные особенности.

Кристаллизация (выпадение осадка). Процесс растворения подземными водами минеральных компонентов горных пород достигает равновесия в случае достижения химическим потенциалом твердой фазы. Образующийся в таком случае насыщенный раствор при изменении геохимической обстановки выделяет вещества путем выпадения их в осадок. Кристаллизация возникает в случае смешения вод, при изменении термодинамических условий, при уменьшении концентрации растворенного в воде газа, например, при выходе на поверхность вод гидрокарбонатного кальциевого состава выделяется углекислый газ и в осадок выпадают карбонат кальция или магния.

Процесс *концентрирования воды* заключается в увеличении количества хорошо растворимых в ней веществ в результате расходования чистой воды на испарение и транспирацию. Наиболее интенсивно этот процесс происходит в условиях засушливого климата при неглубоком залегании грунтовых вод, когда вода испаряется с поверхности капиллярной каймы, а водорастворимые соли остаются и накапливаются в почве и грунтовых водах. Это может привести к постепенному засолению земель. Повышение минерализации близко залегающих (< 3м от поверхности земли) грунтовых вод происходит в результате транспирации (биологического испарения) воды растениями. Расходуя на транспирацию значительное количество воды, растения понижают уровень грунтовых вод. В связи с избирательным поглощением ионов корневой системой может измениться химический состав и рН грунтовых вод.

Для подземных вод глубоких водоносных горизонтов с застойным режимом водообмена перенос вещества осуществляется, например, путем *диффузии*, направленной на установление равно-

весного распределения растворенных компонентов во всем объеме. В результате диффузии в естественных условиях происходит процесс выравнивания концентрации подземных вод, а также их рассоление и засоление.

При взаимодействии ненасыщенных подземных вод с высокопористыми горными породами (например, глинами, суглинками) или природными тонкодисперсными системами (с размерами частиц $< 0,02$ мм) происходит процесс поглощения части растворенного в воде вещества, т. е. процесс *катионного обмена (адсорбции)*. Общее количество ионов способных к поглощению характеризует емкость поглощения. Коллоиды тонкодисперсных пород заряжены отрицательно и имеют на своей поверхности в качестве компенсирующих ионов те или иные катионы. Эти катионы способны обмениваться на катионы соприкасающегося с породой раствора. Обменные реакции протекают на поверхности частиц. В качестве обменных катионов здесь находятся в значительных количествах катионы кальция, магния водорода и натрия (Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , Na^+), но могут находиться и катионы калия и аммония (K^+ , NH_4^+).

Гидратация и дегидратация. Гидратация представляет собой процесс взаимодействия подземных вод с горными породами путем адсорбции, т. е. поглощения молекул воды поверхностным слоем породы. В отличие от процессов гидратации, приуроченных к верхним участкам земной коры, процессы дегидратации, обезвоживания, развиваются на больших глубинах и связаны с метаморфизмом горных пород. Дегидратация производит опресняющее действие на подземные воды.

Выше были рассмотрены естественные факторы формирования состава подземных вод. Но все более значительную, а в некоторых случаях, решающую роль в этом вопросе играет *хозяйственная деятельность человека*: интенсивная застройка, гидротехнические мелиорации, забор подземных вод для различных целей, сброс в подземные воды промышленных стоков, загрязнение отходами сельскохозяйственного производства и т. д. Подземные воды – один из сложнейших и многогранных компонентов в системе окружающей среды, оказывающий значительное влияние на другие природные компоненты. В условиях нарастающего давления деятельности человека на окружающую среду и в том числе на

подземные воды ни одно хозяйственное мероприятие напрямую или косвенно влияющее на их состояние не должно обходиться без детального и научно обоснованного анализа этого влияния, возможных его последствий и разработки мероприятий по предотвращению негативного воздействия.

2.3.4 Агрессивные свойства подземных вод

В связи с большим количеством различных химических элементов и соединений, растворенных в подземных водах, они могут обладать агрессивными свойствами по отношению к строительным сооружениям и конструкциям. Под агрессивным воздействием обычно понимают способность воды разрушать или ухудшать качественные характеристики, взаимодействующих с водой строительных материалов. Обычно, оценку воды (и не только подземной) по степени агрессивности проводят по отношению к бетону, но она может проявляться и на других материалах, из которых состоят различные конструкции и сооружения. Этот вопрос особенно актуален в гидротехническом строительстве, большинство сооружений в котором непосредственно контактирует с водой (трубопроводы, водопропускные, водозадерживающие, водозаборные сооружения, фундаменты глубокого заложения, подземные сооружения и др.), в том числе и с подземными водами.

Рассмотрим основные виды агрессивности воды по отношению к стройматериалам.

Агрессивность выщелачивания проявляется в растворении карбоната кальция CaCO_3 , входящего в состав бетона. Эта агрессивность возможна при малом содержании в воде HCO_3 (0,4–1,5 мг-экв/л). В такой воде равновесной свободной углекислоты CO_2 значительно меньше чем гидрокарбоната HCO_3 и избыток CO_2 растворяет CaCO_3 .

Углекислотная агрессивность обусловлена действием на бетон агрессивной углекислоты CO_2 . Опасное содержание ее в воде устанавливают в зависимости от количества HCO_3 , минерализации воды и от условий, в которых возможно проявление агрессивности (коэффициент фильтрации, напор, сорт цемента и т. д.). При наиболее опасных условиях максимально допустимое содержание агрессивной CO_2 составляет 3 мг/л, при наименее опасных – 8,3 мг/л.

Общекислотная агрессивность, характерная для кислых вод, зависит от содержания свободных водородных ионов. Этот вид агрессии возможен при $\text{pH} = 5,0\text{--}6,8$.

Сульфатная агрессивность обусловлена взаимодействием сульфатов, растворенных в воде с карбонатом кальция бетона. В результате образуются $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4$ и H_2O . Образование этих солей в порах бетона сопровождается резким увеличением их объема, что приводит к разрушению бетона. Допустимое количество SO_4^{2-} устанавливают с учетом условий, в которых находится сооружение, и содержания ионов хлора. При сульфатостойких цементах агрессивность возможна, если в воде SO_4^{2-} содержится более 4000 мг/л, при обычных цементах — более 250 мг/л.

Магнезиальная агрессивность проявляется в разрушении бетона водой с повышенным количеством Mg^{2+} которое устанавливают в зависимости от содержания SO_4^{2-} , сорта цемента, условий и конструкции сооружений.

Кислородная агрессивность свойственна водам, богатым растворенным кислородом, проявляется преимущественно на металлических конструкциях.

2.4 Оценка качества подземных вод для водохозяйственного использования

Подземные воды являются важным источником хозяйственного и питьевого водоснабжения и значимость этого источника со временем все более возрастает. Это связано с интенсивным истощением и загрязнением поверхностных водоисточников, гидролого– климатическими, и другими факторами, снижающими возможность использования поверхностных вод. Подземные воды, как правило, значительно чище, чем поверхностные и лучше их по своему химическому составу, а поэтому более пригодны для питьевого водоснабжения. В настоящее время в мире действует несколько нормативных документов, регламентирующих качество питьевой воды:

- СанПиН 2.1.4.10749– 01 «Питьевая вода». Гигиенические требования к качеству воды»;
- ЕС – директива 98/83/ЕС «По качеству питьевой воды, предназначенной для потребления человеком»;

– международные рекомендации ВОЗ (Всемирная Организация Здравоохранения) «Руководство по контролю качества питьевой воды 1992 г»;

– нормы Агенства по охране окружающей среды США (US EPA) (таблица 8).

Таблица 8 – Требования к качеству питьевой воды

Показатель, ед. изм.	ПДК в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074– 01	норма ВОЗ	норма US EPA	норма ЕС
Водородный показате- ль, ед. рН	в пределах 6– 9	–	6,5–8,5	6,5–8,5
Общая минерализация (сухой статок), мг/л	1000 (1500)	1000	500	1500
Жесткость общая, мг– экв/л	7,0 (10)	–	–	1,2
Щелочность, мг НСО ₃ ⁻ /л	–	–	–	30
Алюминий (Al ³⁺), мг/л	0,5	0,2	0,2	0,2
Барий (Ba ²⁺), мг/л	0,1	0,7	2,0	0,1
Железо (Fe, суммарно), мг/л	0,3 (1,0)	0,3	0,3	0,2
Кадмий (Cd, суммарно), мг/л	0,001	0,003	0,005	0,005
Марганец (Mn, суммарно), мг/л	0,1 (0,5)	0,5 (0,1)	0,05	0,05
Медь (Cu, суммарно), мг/л	1,0	2,0 (1,0)	1,0–1,3	2,0
Мышьяк (As, суммарно), мг/л	0,05	0,01	0,05	0,01
Нитраты (по NO ₃ ⁻), мг/л	45	50,0	44,0	50,0
Нитриты (по NO ₂ ⁻), мг/л	3,0	3,0	3,5	0,5
Ртуть (Hg, суммарно), мг/л	0,0005	0,001	0,002	0,001
Свинец (Pb, суммарно), мг/л	0,03	0,01	0,015	0,01
Селен (Se, суммарно), мг/л	0,01	0,01	0,05	0,01
Сульфаты (SO ₄ ²⁻), мг/л	500	250,0	250,0	2 50,0
Цианиды (CN ⁻), мг/л	0,035	0,07	0,2	0,05

Требования к качеству воды для орошения определены в специальных рекомендациях, составленных для различных условий (климатических, почвенно – грунтовых, биологических требований с.-х. культур и др.). Основными критериями, определяющими требования к качеству воды, являются благоприятное ее воздействие и доступность для растений и предотвращение засоления почво-грунтов под влиянием орошения. По А. Н. Костякову, наиболее пригодна для орошения вода с массовой концентрацией сухого остатка менее 1–1,5 г/л. При минерализации менее 0,4 г/л вода считается хорошей. Кроме минерализации, необходимо учитывать водородный показатель, содержание натрия, соотношение последнего с кальцием и магнием и т. д. Соли натрия наиболее токсичны и опасны для растений, кроме того, ион натрия, переходя вследствие обменной адсорбции в почвенный поглощающий комплекс почв и грунтов, уменьшает их водопроницаемость. В случае содовых вод (гидрокарбонаты и карбонаты натрия) опасность быстрого осолонцевания почв возрастает, так как могут быть полностью осаждены обменные ионы кальция и магния, вытесняемые из почвы. Это наблюдается даже при очень низкой минерализации оросительной воды.

На песчаных почвах с высокой естественной дренированностью возможно применение вод с более высокой минерализацией (до нескольких граммов на литр). Концентрация почвенного раствора в этих условиях при промывном режиме орошения соответствует минерализации оросительной воды. Поэтому предельную минерализацию воды устанавливают по величине, соответствующей солеустойчивости той или иной культуры, при условии благоприятного соотношения в воде катионов и водородного показателя. Для суглинистых почв пустынной зоны минерализация оросительной воды не должна превышать 1,5– 2 г/л при обязательном промывном режиме орошения, когда инфильтрация превышает суммарное испарение и искусственном усилении оттока грунтовых вод. На черноземах степной зоны для орошения используют воду минерализацией не более 0,5– 0,6 г/л, на каштановых почвах – 0,5 – 1,0 г/л. В условиях неглубокого залегания минерализованных грунтовых вод требования к качеству оросительной воды повышаются в виду возможности повторного засоления.

2.5 Динамика подземных вод

2.5.1 Законы фильтрации подземных вод

Подземные воды движутся под влиянием гравитационных сил от областей питания, где уровень их имеет наибольшие отметки (горные хребты с окаймляющими их предгорными шлейфами, водораздельные равнины и другие повышения рельефа) к областям разгрузки, где отметки уровня наименьшие (речные долины, овраги и балки, места резких перегибов рельефа в предгорьях). Области питания подземных вод могут быть приурочены также к водохранилищам, оросительным каналам и др. Искусственная разгрузка подземных вод наблюдается при отборе подземных вод скважинами, колодцами, осушительными каналами, дренами. Направление движения грунтовых вод почти всегда совпадает с уклоном рельефа.

Фильтрация – движение подземных вод в порах рыхлых горных пород и в трещинах скальных пород в условиях, когда поры и трещины полностью заполнены водой. Если движение воды происходит в породах, не полностью насыщенных водой, то его называют *инфильтрацией* (например, просачивание осадков через зону аэрации). Различают движение воды ламинарное (установившееся и неуставившееся) и турбулентное. *Ламинарное*, или параллельно– струйчатое, движение происходит без пульсации скоростей, *турбулентное*, или вихревое, движение характеризуется пульсацией скоростей, вследствие чего перемешиваются различные слои потока. *Установившееся движение* подземных вод характеризуется постоянством во времени в любом сечении мощности, напорного градиента, скорости фильтрации, расхода. При изменении во времени этих характеристик движение называется *неустановившимся*.

Ламинарное движение подземных вод подчиняется основному закону движения подземных вод – *линейному закону фильтрации (закон Дарси)*:

$$Q = k_{\phi} \cdot F \cdot I,$$

где Q – расход фильтрационного потока, м³/сут; k_{ϕ} – коэффициент фильтрации породы, м/сут; I – градиент напора (гидравлический градиент); F – площадь поперечного сечения потока, м².

Градиент напора характеризует уклон свободной поверхности грунтовых вод или пьезометрической поверхности напорных вод:

$$I = (H_1 - H_2) / L,$$

где H_1 – отметка уровня грунтовых вод или пьезометрической поверхности напорных вод в сечении I (рисунок 8), м; H_2 – то же, в сечении II.

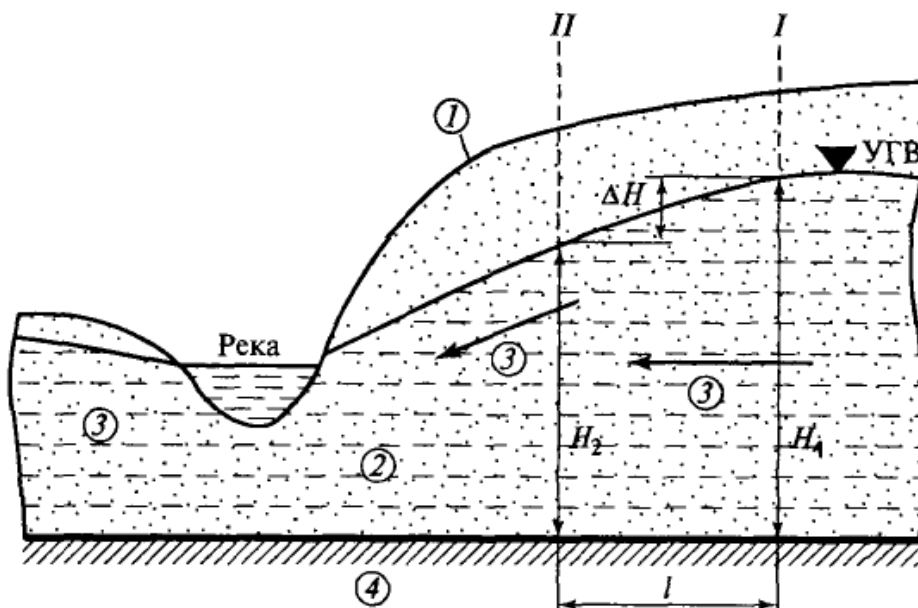


Рисунок 9 – Схема ламинарной фильтрации грунтовых вод:
1 – поверхность земли; 2 – водовмещающая порода; 3 – водоносный горизонт; 4 – водоупор

Градиент напора грунтовых вод можно определить по гидроизогипсам – линиям, соединяющим одинаковые отметки поверхности грунтовых вод. Градиент зависит от уклона рельефа и степени его расчлененности, характера водоносных пород, уклона водоупорного слоя, соотношения отметок областей питания и дренирования, расстояния между этими областями и др. Градиент напора непостоянен во времени, он может возрасти при усилении питания грунтовых вод и уменьшиться при его ослаблении.

Движение подземных вод происходит не через все сечение потока, а лишь через часть его, соответствующую площади пор или трещин. Действительная скорость фильтрующейся воды равна:

$$v = Q/F \cdot n,$$

где n — пористость породы в долях единицы.

Для сильно трещиноватых пород с крупными пустотами и трещинами характерно турбулентное движение фильтрующейся воды, которое подчиняется нелинейному закону фильтрации (закон Шези – Краснопольского):

$$v = k_{\phi} \cdot \sqrt{I},$$

где v — скорость фильтрации, м/сут.

Таким образом, при турбулентном движении скорость фильтрации пропорциональна напорному градиенту в степени 1/2 .

Фильтрация воды возможна и в плотных водоупорных глинах, но при условии если возникает гидравлический градиент, превышающий определенное первоначальное значение, при котором начался процесс фильтрации, т.е. такая фильтрация тоже не подчиняется линейному закону движения жидкости.

2.5.2 Гидрогеологические параметры и методы их определения

Гидрогеологические параметры характеризуют фильтрационные и емкостные свойства горных пород – главные свойства определяющие динамику подземных вод. На основании гидрогеологических параметров проводятся гидродинамические расчеты дренажа на орошаемых и осушаемых землях, прогнозные расчеты режима подземных вод при мелиорации земель. О физической сути основных фильтрационных свойств горных пород (водопроницаемость, водопроводимость, водоотдача) было сказано в разделе 2.1 данного учебного пособия. Здесь рассмотрим более подробно параметры, характеризующие эти свойства и методы их определения. Гидрогеологические параметры определяют на основе полевых опытно– фильтрационных работ (откачка или нагнетание подземных вод в скважины, наливов воды в шурфы и котлованы), путем натуральных наблюдений за режимом подземных вод, опытов в лабораторных приборах.

Коэффициент фильтрации (см. раздел 2.1) – основной параметр, характеризующий движение воды через горные породы (фильтрационные свойства). Существует много расчетных, лабора-

торных и полевых методов его определения в различных инженерно– геологических и хозяйственных условиях. *Расчетные* методы основаны на эмпирических (полученных опытным путем) зависимостях, связывающих расчетный параметр с физическими характеристиками горной породы. Эти методы не дают достаточно точных результатов и могут быть использованы только на начальных стадиях исследований. *Лабораторные методы* определения проводятся в специальных приборах с постоянным или переменным напором, где скорость движения воды через образец породы изучается при разных гидравлических градиентах. Для определения коэффициента фильтрации в грунтах с высокой водопроницаемостью используют трубку СПЕЦГЕО (рисунок 10). В трубку, оснащенную пьезометрами, помещают испытуемый образец грунта и фильтруют через него воду под определенным напором (гидравлическим градиентом). Определив расход профильтровавшейся воды, коэффициент фильтрации рассчитывают по формуле:

$$k_{\phi} = QL/F(h_1 - h_2),$$

где h_1 , h_2 – показания пьезометров; L – расстояние между точками их присоединения; Q – расход профильтровавшейся воды; F – площадь поперечного сечения трубки.

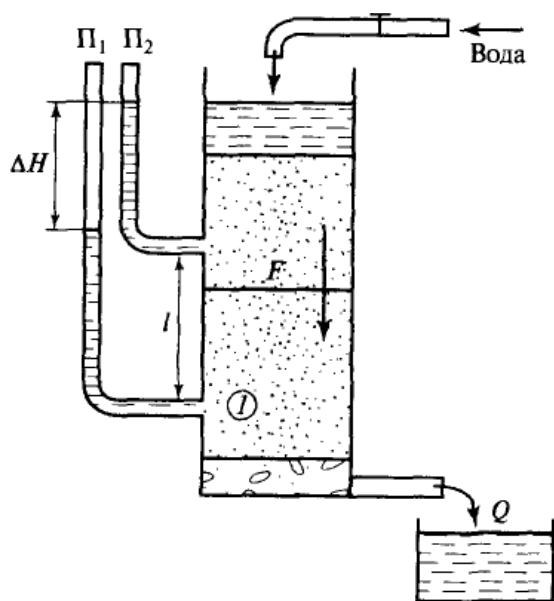


Рисунок 10 – Определение коэффициента фильтрации в трубке СПЕЦГЕО

Для определения коэффициента фильтрации в глинистых грунтах используют приборы типа ПВГ (рисунок 11), позволяющие определять k_f для образцов как нарушенной так и ненарушенной структуры.

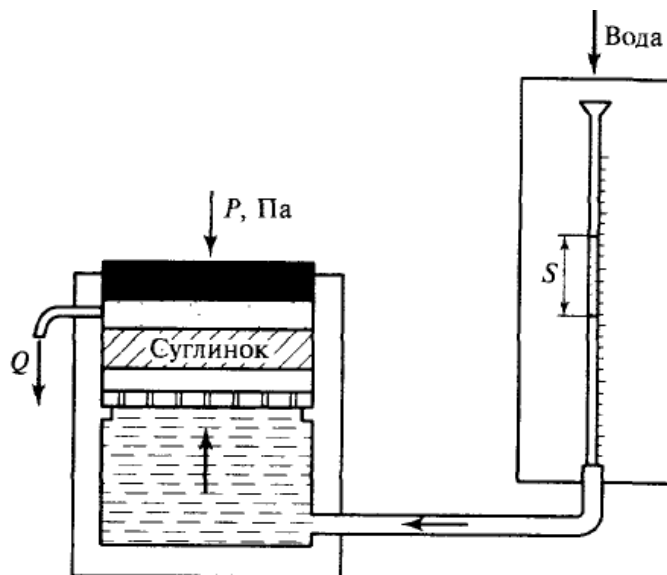


Рисунок 11 – Определение коэффициента фильтрации глинистых грунтов в приборе типа ПВГ

Полевые методы определения k_f дают более достоверные результаты чем лабораторные, но вместе с этим они более трудоемкие и материально затратные. Для определения коэффициента фильтрации полевым методом *опытно-фильтрационных откачек* (рисунок 12) из центральной скважины откачивают воду расходом Q и замеряют понижения уровней воды в центральной и наблюдательных скважинах. Центральная скважина – совершенная (вскрывает водоносный пласт на полную мощность). Коэффициент фильтрации рассчитывают по формуле Дюпюи:

$$K_{фл} = 0,73Q \frac{(\lg x_1 - \lg r)}{(2H - S - S_1)(S - S_1)},$$

где Q – расход откаченной воды, м³/сут; x_1 – расстояние от соответствующей наблюдательной скважины до центральной скважины, м; r – радиус центральной скважины, м; H – мощность водоносного пласта, м; S – понижение уровня воды в центральной скважине, м; S_1 – понижение уровня воды в соответствующей наблюдательной, м

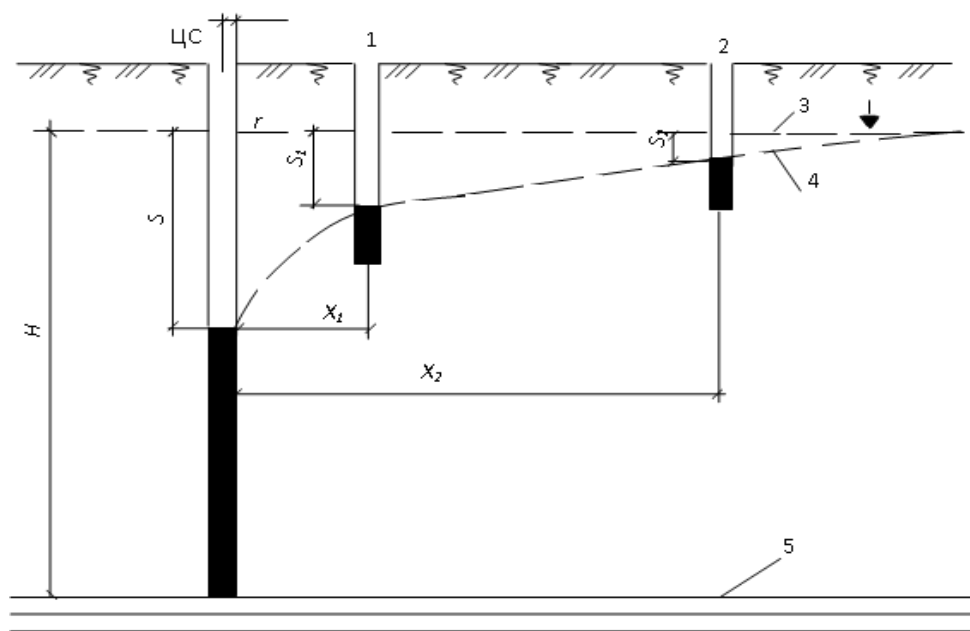


Рисунок 12 – Определение коэффициента фильтрации полевым методом
 опытно – фильтрационных откачек:
 ЦС – центральная скважина; 1, 2 – наблюдательные скважины; 3 – исходный
 УГВ; 4 – УГВ после откачек

Для гидрогеологических расчетов в условиях установившейся фильтрации достаточно иметь данные по коэффициенту фильтрации пород. В условиях неустановившегося движения требуется определение таких параметров как коэффициенты уровне – и пьезопроводности водоносного горизонта. *Коэффициент уровнепроводности* ($\alpha_y, м^2/сут$) – комплексный параметр, характеризующий скорость перераспределения напоров воды в пласте при неустановившейся фильтрации. Для условий безнапорного пласта он рассчитывается по следующей зависимости:

$$\alpha_y = k_f h_{cp} / \mu,$$

где h_{cp} – средняя мощность пласта, м; μ – коэффициент гравитационной водоотдачи, или активная пористость.

При расчетах дебитов водозаборов напорных вод, когда под влиянием упругих деформаций воды и водоносной породы в напорном пласте пренебрегать нельзя, используют *коэффициент пьезопроводности* ($\alpha, м^2/сут$) – показатель распределения напоров

в напорном водоносном горизонте, зависящий от упругих свойств воды, пористости и упругих свойств водоносной породы:

$$\alpha = k_{\phi} / (n_{акт} \beta_w + \beta_n),$$

где $n_{акт}$ – активная пористость породы; β_w, β_n – коэффициенты объемной упругости воды и породы соответственно.

Коэффициенты пьезопроводности для артезианских вод изменяются от 10^3 до 10^7 м²/сут, а уровнепроводности от 200 до 10000 м²/сут. Максимальные значения этих параметров характерны для гравийно–галечников и трещиноватых скальных пород. Определение коэффициентов проводят по данным откачек воды из скважин, наблюдая за восстановлением уровня, а так же путем анализа работы действующих водозаборов.

2.5.3 Направление потока и приток воды к водозаборным сооружениям

Водозаборные сооружения (скважины, колодцы, дрены и др.) предназначены для отбора подземных вод на орошение и водоснабжение, для понижения уровня подземных вод при осушении сельскохозяйственных земель, строительных котлованов и месторождений полезных ископаемых, а также для проведения опытно–фильтрационных исследований. Водозаборы могут быть одиночными (работает одна скважина или колодец) или групповыми, когда водозабор или водопонижение осуществляется комплексом, таких сооружений. Скважины и колодцы сооружают также для сброса поверхностных или подземных вод в нижележащие пласты. Такие колодцы называют *поглощающими*. Их строят для осушения местности, пластов, содержащих полезные ископаемые, для сброса сточных промышленных вод, для искусственного пополнения запасов подземных вод и т. д. По степени вскрытия пласта колодцы и скважины (водозаборные и поглощающие) делятся на совершенные и несовершенные. Первые вскрывают всю водоносную толщу, вторые — лишь часть водоносного горизонта.

Для решения практических задач водохозяйственного строительства (определения количества, видов, расположения в плане и параметров водозаборных и водопонижающих сооружений) необ-

ходимо знать направление потоков подземных вод. Этот показатель может существенно меняться даже в пределах незначительной по площади территории. Для определения направления движения вод на большой площади целесообразно использовать *карту гидроизогипс* – карту поверхности грунтовых вод. *Гидроизогипсы* – линии, соединяющие точки с одинаковыми отметками (абсолютными или относительными) уровня подземных вод. Поток воды движется перпендикулярно изолиниям карты от больших значений к меньшим (рисунок 13).

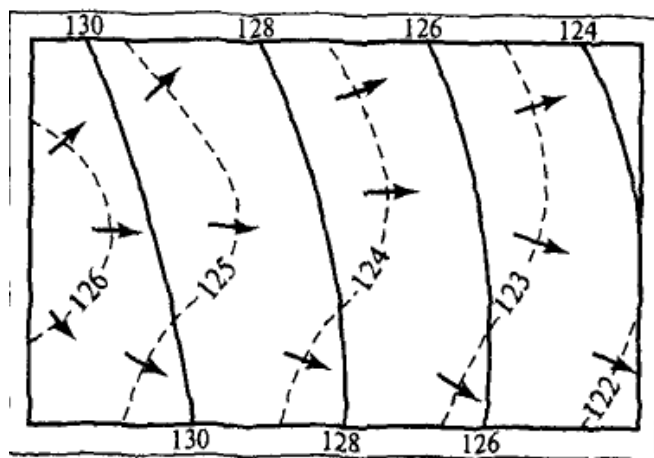


Рисунок 13 – Определение направления потока подземных вод (показано стрелками) по карте гидроизогипс

Для отдельного небольшого участка можно использовать метод трех скважин, когда направление определяют по трем буровым скважинам, расположенным по вершинам равностороннего треугольника и имеющим разные отметки УПВ. Направление потока указывает линия, проведенная из точки с более высоким положением уровня и перпендикулярная изолинии с более низкой отметкой УПВ (рисунок 14).

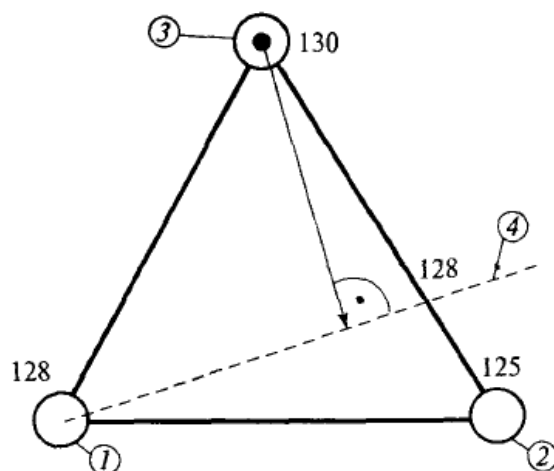


Рисунок 14 Определение направления потока подземных вод методом 3 скважин:
1, 2, 3 – скважины; 4 – гидроизогипса

При откачке воды из колодцев или скважин происходит воронкообразное понижение УПВ, образуется так называемая *депрессионная воронка*, а кривая понижения называется *кривой депрессии* (рисунок 15). Максимальное понижение уровня происходит в точке откачки, т.е. в месте устройства скважины или колодца.

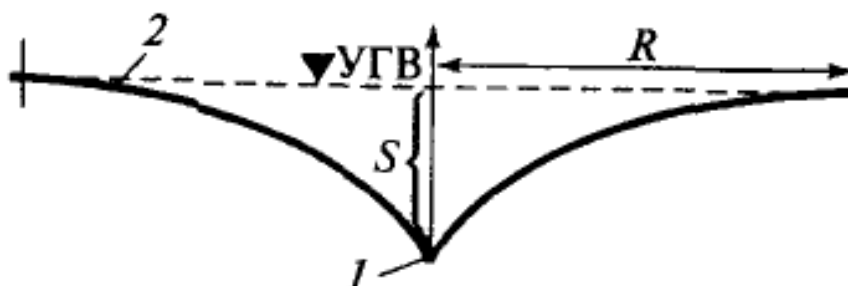


Рисунок 15 – Депрессионная воронка:
1 – точка откачки; 2 – исходный УГВ

По мере удаления от точки откачки величина понижения (S , м) становится меньше и на определенном расстоянии от водозаборного сооружения УПВ под влиянием откачки не изменяется. Это расстояние называется *радиусом влияния* или *радиусом депрессионной воронки* (R , м). При проектировании мероприятий по водопонижению, определение радиуса влияния имеет одно из первостепенных значений. Зависит этот параметр, в первую очередь, от водопроницаемости пород (таблица 9).

Таблица 9 – Радиус влияния на каждые 10 м понижения воды

Порода	Радиус влияния R, м
Мелкозернистые пески	50–100
Среднезернистые пески	100–200
Крупнозернистые пески	200–400
Очень крупнозернистые пески, галечники и сильно трещиноватые породы	400–600 и более

Как видно из таблицы, радиус влияния при одинаковом значении понижения УПВ в хорошо водопроницаемых грунтах (галечники, трещиноватые породы) существенно больше, чем в слабопроницаемых (мелкозернистые пески). Величина радиуса (R , м) для ненапорного водоносного пласта определяется по формуле Кусакина в зависимости от величины понижения УПВ:

$$R = 2S\sqrt{Hk\phi},$$

где S – понижение УПВ в точке откачки, м; H – мощность водоносного горизонта, м.

Величину радиуса влияния можно рассчитать в зависимости от дебита (расхода) водопонижающей скважины или колодца (Q , м³/сут, или л/сек) и величины гидравлического градиента (напора) водоносного горизонта (I):

$$R = 3Q/(2Hk_{\phi}I).$$

Для назначения параметров водозаборных сооружений необходимо определить расходы притока подземных вод к ним. По степени вскрытия пласта колодцы, скважины или траншеи (водозаборные и поглощающие) делятся на *совершенные* – полностью вскрывающие водоносный горизонт и *несовершенные* – вскрывающие его частично (рисунок 12). *Дебитом или расходом* колодца или скважины (Q , м³/сут, или л/с) называют максимальное количество воды, которое можно забрать (откачать) из колодца за единицу времени без изменения уровня воды в нем, т.е. забор воды равен

притоку. Приток воды (дебит) к совершенному колодцу определяется по зависимости:

$$Q = \pi k \phi [(H^2 - h^2) / (\ln R - \ln r)],$$

где H – мощность водоносного горизонта, м; h – уровень воды в колодце или скважине, м; R – радиус влияния колодца, м; r – радиус (сторона) скважины (колодца), м.

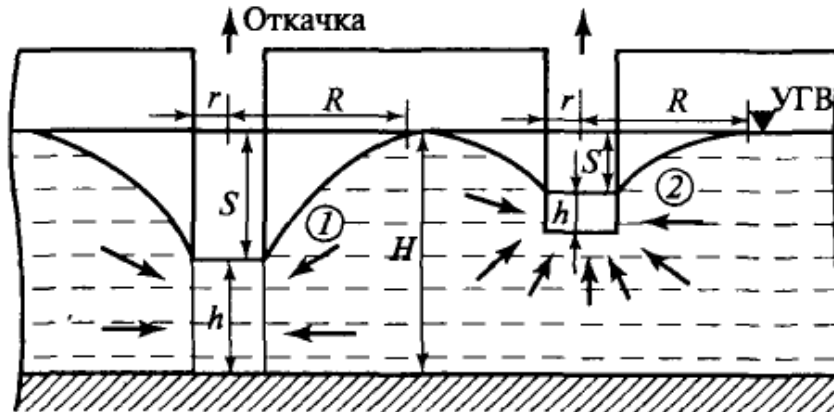


Рисунок 16 – Водозаборные колодцы (скважины):
1 – совершенного типа, 2 – несовершенного, S – понижение УГВ под влиянием откачки

К несовершенному колодцу приток воды происходит не только через его стенки, но и через дно (рисунок 16). Вместе с тем вода поступает в колодец не по всей мощности водоносного горизонта, а только по глубине активной его части (H_0), которую принимают $4/3$ высоты столба воды в колодце до откачки. Расход (дебит) несовершенного колодца рассчитывают по формуле Дюпуй:

$$Q = 1,36 k \phi [(H^2 - h^2) / (\lg R - \lg r)],$$

где h_0 – глубина воды в несовершенном колодце (скважине), м.

Основными элементами водопонижающего дренажа являются каналы или траншеи, которые так же могут быть совершенными и несовершенными. Расход воды для совершенной канавы, к которой приток воды происходит с обеих сторон, определяется по зависимости:

$$Q = k \phi L (H^2 - h^2) / R,$$

где L – длина канавы, м.

Для канавы с притоком с одной стороны:

$$Q = k\phi L[(H^2 - h^2)/2R,$$

Расход воды для несовершенной канавы можно определить зная расход совершенной ($Q_{\text{сов.к}}$):

$$Q_{\text{н.к}} = Q_{\text{сов.к}} t / N,$$

где t – расстояние от дна канавы до исходного УГВ, м.

Как правило, расходы совершенных водозаборных и водопонижающих сооружений больше, несовершенных.

2.6 Прогнозы гидрогеологических условий в водохозяйственном строительстве

Гидрогеологические прогнозы необходимы при составлении проектов водохозяйственного строительства, а также в связи с возможными изменениями естественных условий (метеорологических, параметров поверхностного стока, и др.). Результаты прогноза служат основой проекта, так как позволяют установить изменения, происходящие в гидрогеологических, и почвенно-мелиоративных условиях под влиянием проводимых водохозяйственных мероприятий. Целью прогнозных расчетов является решение следующих задач:

- определение опасности поднятия до критического уровня глубоко залегающих грунтовых вод, при проектируемых способах орошения, технике полива и режиме орошения;
- определение минерализации грунтовых вод;
- определение срока подъема уровня и его интенсивности
- определение потребности устройства дренажа, для обеспечения необходимого режима грунтовых вод;
- определение наиболее оптимальных режимов орошения и оросительных норм для намечаемых сельскохозяйственных культур.

В условиях стабильно пресных грунтовых вод и высокой естественной дренированности территории, обычно составляют только уровенные прогнозы (изменения уровня грунтовых вод). В осталь-

ных случаях, кроме них, требуются прогнозы солевого режима почвогрунтов.

2.6.1 Методы гидрогеологических прогнозов

Существуют различные методы прогнозных гидрогеологических расчетов. Выбор метода, в первую очередь, зависит от поставленных задач и условий, для которых проводится расчет. *Водно–балансовым методом* определяют изменение запасов грунтовых вод в зависимости от заданных элементов водного баланса исследуемой территории (инфильтрации осадков, оросительных вод и фильтрации из каналов и поверхностных водоемов, расхода грунтовых вод на испарение и транспирацию, подпитку грунтовых вод из нижележащих горизонтов и др.). При известных водно–физических характеристиках горных пород рассчитывают общую величину и скорость повышения уровня грунтовых вод. Элементы баланса для проектных или существующих условий устанавливают предварительно на опытных участках путем выявления зависимостей между вышеперечисленными параметрами. *Аналитические методы* основаны на прогнозе уровня путем решений дифференциальных уравнений неустановившегося движения грунтовых вод. Необходимы знания общих гидрогеологических условий, фильтрационных характеристик грунтов, отметок заданных уровней воды в каналах, ожидаемой инфильтрации, испарения и т. д. Метод применим в сравнительно простых гидрогеологических условиях при однородном геологическом строении. *Методы математической статистики* сводятся к установлению корреляции связей колебаний уровня грунтовых вод с одним или несколькими факторами, например осадками, подачей воды на орошение, испарением и др. Метод применим в основном для районов с длительным (не менее 15–20 лет) периодом статистических наблюдений за вышеперечисленными параметрами. *Метод гидрогеологических аналогов* основан на прогнозе режима грунтовых вод массивов нового освоения. Используются результаты наблюдений в хорошо изученных районах, аналогичных по гидрогеологическим и хозяйственным условиям. *Метод моделирования фильтрации* предполагает создание фильтрационной модели, схематизирующей, по известным заранее параметрам, природную обстановку, на основе которой прогнозируют режим грунтовых вод для заданных хозяйственных условий.

Моделирование позволяет в сложных гидрогеологических условиях при установившемся и неустойчивом режиме фильтрации оценить взаимосвязь параметров влияющих на гидрогеологическую обстановку. Метод моделирования дает наиболее точные результаты при наличии достоверной исходной гидрогеологической информации.

2.6.2 Прогноз изменения уровня грунтовых вод в условиях мелиорации

В данном учебном пособии рассматриваются гидродинамические методы прогнозов изменения уровня подземных вод. Эти методы основаны на уравнениях движения и сохранения массы подземной воды, которые включают баланс потока подземных вод, позволяют установить изменение уровня в любой точке территории. При этом отпадает надобность в раздельном определении отдельных элементов водного баланса, так как эти элементы входят в модуль питания потока подземных вод, который определяют из уравнений по данным натурных наблюдений за колебаниями уровня грунтовых вод. Этими методами, зная некоторые гидродинамические характеристики грунтов и водоносных пластов (свободная пористость, водоотдача, дефицит насыщения, проницаемость, пьезопроводность, модуль питания), можно выполнить расчет и составить прогноз для глубины уровней, расходов фильтрационного потока, влажности почв на различных участках мелиорируемой территории и в разные периоды времени. При определении гидродинамических характеристик пластов и прогнозах используют одни и те же уравнения, что для достоверности прогнозов очень важно. Рассматривается неустойчивый режим грунтовых вод, при котором все гидродинамические элементы потока (напоры, давление, скорость) изменяются во времени.

По характеру поступления инфильтрационных вод на мелиорируемых землях различают 2 схемы питания: 1) быстрое образование "купола" подземных вод, с последующим их медленным растеканием – характерно в условиях поступления значительных объемов оросительных вод за короткий временной интервал (от нескольких часов до нескольких суток); 2) длительная инфильтрация вод с медленным (1– 25 лет) образованием «купола» – характерна

при регулярном поступлении небольших объемов в течении многолетнего ряда. Выбор расчетной схемы, кроме того, зависит от граничных условий водоносного пласта. Граничные контуры водоносного пласта в гидродинамических расчетах делят на 2 типа: 1) проницаемые (водоемы и более проницаемые породы); 2) непроницаемые (менее проницаемые породы). В данном случае «более» или «менее проницаемые» по сравнению с породами области инфильтрации и прилегающей территории изменения УПВ. Решения поставленных прогнозных гидродинамических задач основано на решении дифференциального уравнения плановой неустановившейся фильтрации:

$$a \left(\frac{d^2 \varphi}{dx^2} + \frac{d^2 \varphi}{dy^2} \right) = \frac{d\varphi}{dt}.$$

Существует множество решений данного уравнения в зависимости от природных и хозяйственных условий объекта прогнозирования. В качестве примера рассмотрим решение, применимое для неограниченного водоносного пласта (граничные контуры отсутствуют) в условиях длительной инфильтрации оросительных вод прямоугольного в плане участка орошения (рисунок 17).

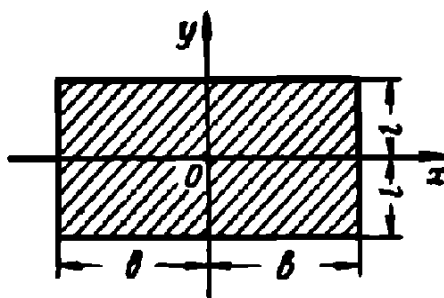


Рисунок 17 – Расчетная схема участка инфильтрации

При построении расчетной схемы прямоугольной в плане области инфильтрации размерами $2l \times 2b$ координатные оси X и Y располагаются так, чтобы центр координат совпадал с центром участка инфильтрации. Величина подъема уровня грунтовых вод (z , м) определяется по следующей зависимости:

$$z(x, y, t) = 0.25 \frac{\varepsilon t}{\mu h_e} [I(\mu_x, m_1) - I(\mu_x, m_2) - I(\xi_x, m_3) - I(\xi_x, m_4)],$$

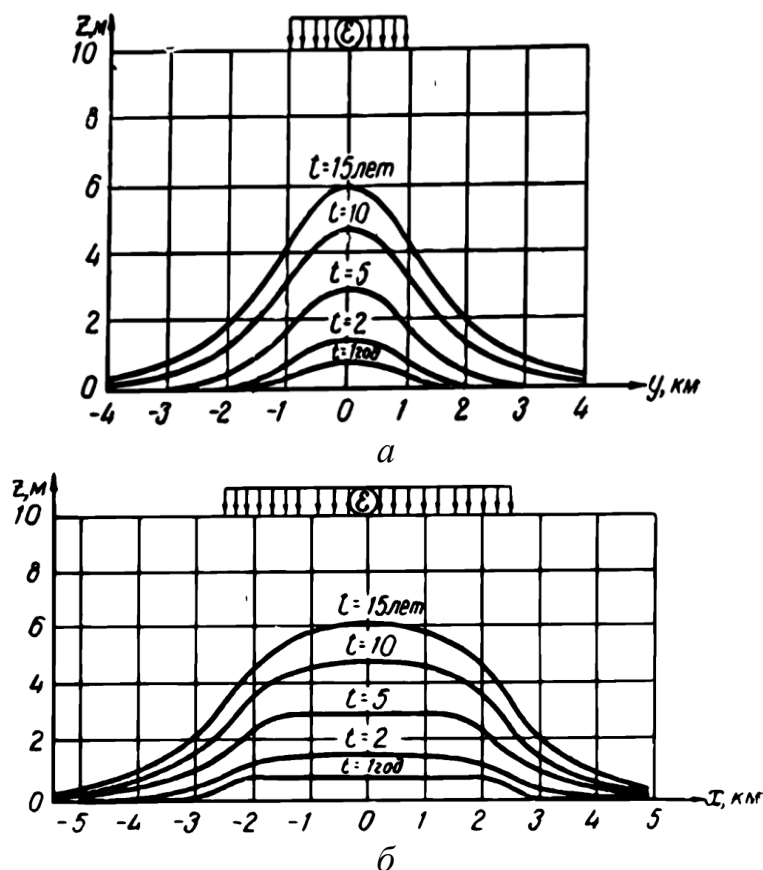
где h , h_e – исходный и прогнозный уровни ПВ соответственно; ε – интенсивность инфильтрации (интенсивность подпитки грунтовых вод от орошения), м/сут – зависит от % потерь инфильтрационных вод. Для условий регулярного орошения составляет 5– 20 % от объема оросительных вод. Тогда:

$$\varepsilon = (0,05 - 0,2)M_0 / 365 \cdot F,$$

где F – площадь участка инфильтрации ($2l \times 2b$), м²; M_0 – оросительная норма, м³/га; t – период прогноза, сут; a – коэффициент уровнепроводности пласта, м²/сут; η – коэффициент водонасыщения грунта водоносного горизонта; μ_x , ξ_x ; m_{1-4} – аргументы интегральной функции; l , b – размеры области инфильтрации, м; x , y – координаты исследуемых точек, м.

$$\eta_x = \frac{x-b}{2\sqrt{at}}, \quad \xi_x = \frac{x-b}{2\sqrt{at}}, \quad m_1 = \frac{y+l}{x+b}, \quad m_2 = \frac{y-l}{x+b}, \quad m_3 = \frac{y+l}{x-b}, \quad m_4 = \frac{y-l}{x-b}$$

Расчетные точки располагают в пределах и за пределами области инфильтрации на одинаковом расстоянии друг от друга. В зависимости от рассчитанных параметров μ_x , ξ_x , m_n по специальным таблицам определяется значение интегральной функции $I(\lambda; m)$. При отсутствии в таблице рассчитанных параметров λ и m , значение интеграла определяется интерполированием между ближайшими табличными значениями. Расчеты достаточно выполнить для одной четверти области, так как формирующийся поток в плане симметричный (рисунок 18). Подъем УПВ характеризуется неравномерной интенсивностью во времени. Наиболее интенсивное поднятие наблюдается в первые годы орошения, в последующие годы интенсивность заметно снижается (рисунок 18). В связи с этим, прогнозные расчеты проводят для нескольких расчетных периодов, в зависимости от продолжительности эксплуатации оросительной системы, например для 1, 2, 5, 10 и 15 лет эксплуатации.



Рисуно 18 –Изолинии подпора грунтовых вод под влиянием инфильтрации:
a – в сечении $x = 0$; *б* – в сечении $y = 0$.

На основании расчетов делается вывод о динамике уровня грунтовых вод под влиянием длительной инфильтрации (орошения) в пространстве и времени. На основании сравнения рассчитанного значения величины поднятия уровня z с критической величиной Δ_0 , можно сделать вывод о наличии опасности переувлажнения, заболачивания и засоления земель под влиянием длительной инфильтрации оросительных вод.

2.6.3 Прогноз засоления грунтовых вод и почвогрунтов под влиянием водохозяйственных мероприятий

Прогнозы солевого режима почвогрунтов и грунтовых вод основаны на уравнениях солевого баланса, т. е. на основе соотношения приходных и расходных статей передвижения солей за расчетный период (многолетний ряд, 1 год, вегетационный период). Солевой прогноз проводят параллельно с прогнозом водного режима (см. выше) на мелиорируемых землях с низкой естественной дренированностью, близко залегающими минерализованными грунто-

выми водами. Задачей прогноза является определение общего содержания солей, хлоридов и токсичных солей (натрия, магния и др.). Для полной информации о возможности засоления составляют прогноз общего солевого баланса, баланса солей грунтов зоны аэрации, баланса солей грунтовых вод.

Уравнение общего солевого баланса имеет вид:

$$S_{\text{общ}}^2 = S_{\text{общ}}^1 + S_{\text{общ}}^3 + S_{\text{общ}}^4 + S_{\text{общ}}^5 + S_{\text{общ}}^6 + S_{\text{общ}}^7 - S_{\text{общ}}^8 - S_{\text{общ}}^9 - S_{\text{общ}}^{10}, \text{ т/га},$$

где $S_{\text{общ}}^2$ – прогнозируемое содержание солей; $S_{\text{общ}}^1$ – начальное содержание; $S_{\text{общ}}^3$ – соли, поступающие с осадками; $S_{\text{общ}}^4$ – соли поступающие с оросительной водой; $S_{\text{общ}}^5$ – соли, поступающие с подземным притоком; $S_{\text{общ}}^6$ – соли, приносимые ветром; $S_{\text{общ}}^7$ – соли, поступающие с удобрениями; $S_{\text{общ}}^8$, $S_{\text{общ}}^9$, $S_{\text{общ}}^{10}$ – соли, выносимые соответственно с подземным оттоком, дренажными водами, с урожаем растений.

При глубоком залегании водоупора прогнозируемое содержание солей из общего солевого баланса подсчитывают для балансового слоя, нижняя граница которого соответствует глубине мало изменяющейся (по сезонам года) минерализации грунтовых вод. Эта глубина в большинстве районов не превышает 8–10 м. Упрощенное уравнение для выделенного балансового слоя имеет вид:

$$S_{\text{общ}}^2 = S_{\text{общ}}^1 + S_{\text{общ}}^4 + S_{\text{общ}}^9 \pm S_n, \text{ т/га},$$

где S_n – подземный солеобмен, определяемый на основе пьезометрических наблюдений и данных о послонной минерализации грунтовых вод.

Уравнение солевого баланса зоны аэрации:

$$S_a^2 = S_a^1 + S_a^3 + S_a^4 + S_a^5 + S_a^6 + S_a^7 - S_a^8 - S_a^9, \text{ т/га},$$

где S_a^2 , S_a^1 – соответственно конечный и начальный запасы солей в зоне аэрации; S_a^3 , S_a^4 , S_a^5 , S_a^6 – соли, поступающие в зону аэрации соответственно с осадками, оросительной водой, путем импультверизации и с удобрениями; S_a^7 – соли, поступающие из водонасыщенной зоны путем испарения, транспирации, диффузионных токов и др.; S_a^8 – соли, выносимые просачивающимися осадками и оросительными водами в грунтовые; S_a^9 – соли, выносимые с урожаем растений.

Уравнение солевого баланса грунтовых вод:

$$S_2^2 = S_2^1 + S_2^3 + S_2^4 + S_2^5 - S_2^6 - S_2^7 - S_2^8 \pm S_2^9, \text{ т/га,}$$

где S_2^2 , S_2^1 – соответственно конечный и начальный запасы воды в грунтовых водах, S_2^3, S_2^4 – соли, поступающие с осадками и оросительными водами соответственно, S_2^5 – с подземным притоком, S_2^6 , S_2^7 , S_2^8 – соли, выносимые в зону аэрации при испарении и транспирации грунтовых вод, с подземным оттоком и с дренажным стоком соответственно; S_2^9 – соли, поступающие за счет растворения, например при подъеме грунтовых вод (+), или выпадающие при насыщении раствора или в результате других реакций (-).

Рассмотренные уравнения солевого баланса являются упрощенными, в частности, они не учитывают процессы сорбции и десорбции и др. При изучении солевого баланса определение статей водного баланса сопровождается регулярными наблюдениями за минерализацией оросительных и дренажных вод, засоленностью пород и за послойной минерализацией грунтовых вод на глубину до 8–10 м.

Прогнозные расчеты водного и солевого баланса на мелиорируемых землях позволяют разработать меры по предупреждению вторичного засоления сельскохозяйственных земель или назначить эффективные мероприятия по борьбе с засолением.

2.7 Ресурсы подземных вод и их количественная оценка

В настоящее время, в связи с интенсивным истощением и загрязнением поверхностных водоисточников, использование подземных вод в хозяйственно – питьевых, сельскохозяйственных и промышленных целях становится все более актуальным. Общие естественные ресурсы подземных вод территории России оцениваются примерно в 787,5 км³ в год, разведанные запасы – 29 км³ в год, запасы, подготовленные к освоению, – более 20 км³ в год. («Концепция государственной политики устойчивого водопользования в Российской Федерации, 1998»). Существуют понятия «запасы» и «ресурсы» подземных вод. Под термином *запасы* следует понимать количество воды (объем, массу), содержащееся в рассматриваемом элементе гидросферы (водоносный горизонт, участок горизонта, месторождение и т. д.); Под термином *ресурсы* – величину их возобновления (восполнения) в естественных услови-

ях или в условиях эксплуатации за определенный период времени (расход). В соответствии с существующими представлениями запасы и ресурсы подземных вод подразделяются на количественные категории (рисунок 19).

Естественные запасы представляют собой массу (объем) подземных вод, содержащихся в рассматриваемом элементе подземной гидросферы (пласте, участке пласта, системе пластов и др.). В свою очередь они подразделяются на так называемые *емкостные* запасы, определяемые тем количеством воды, которое извлекается при осушении пласта, и *упругие* запасы, которые формируются при снижении пьезометрического уровня (пластового давления) напорных подземных вод за счет расширения воды и уплотнения минерального скелета пласта.

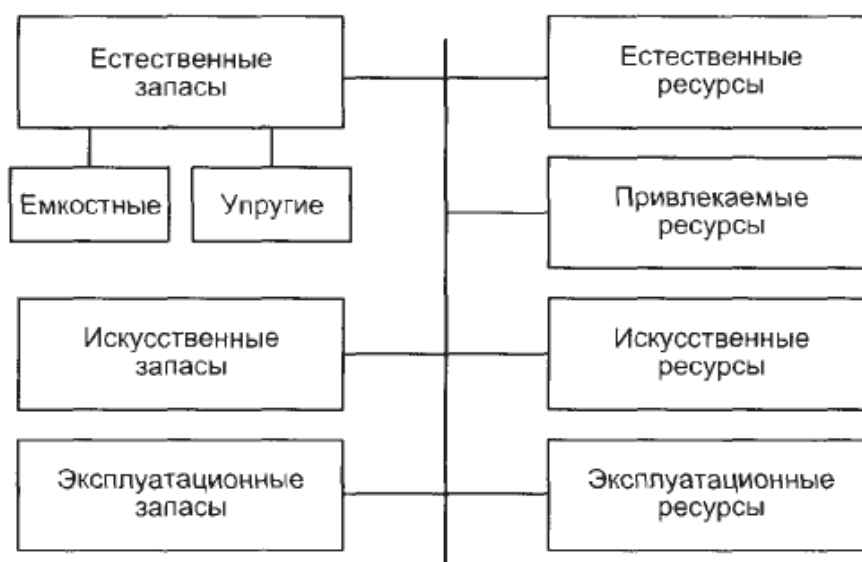


Рисунок 19 – Схема классификации запасов и ресурсов подземных вод

Естественные ресурсы (естественно – антропогенные в условиях влияния хозяйственной деятельности) представляют собой обеспеченный питанием приток (восполнение) подземных вод рассматриваемого элемента, равный количеству воды, поступающему в него в единицу времени (расход) в естественных условиях за счет инфильтрации атмосферных осадков, фильтрации из рек и озер, перетекания из выше – и нижележащих горизонтов, притока со смежных участков. Таким образом, они могут быть определены как сумма приходных элементов водного баланса водоносного гори-

зонта (месторождения и др.) в естественных условиях. *Привлекаемые ресурсы* определяются увеличением питания подземных вод рассматриваемого элемента в условиях эксплуатации за счет возникновения или усиления фильтрации из рек и озер, перетеканием из смежных горизонтов и др. Под *искусственными запасами* понимается масса (объем) подземных вод в пласте, сформировавшаяся за счет искусственного обводнения проницаемых (но ненасыщенных) горных пород, так называемое магазинирование подземных вод.

Искусственные ресурсы определяются количеством воды (восполнением), поступающим в водоносный горизонт (месторождение и др.) в результате проведения специальных мероприятий по искусственному питанию подземных вод.

Эксплуатационные запасы (ресурсы) – количество воды (расход, м³/сут), которое может быть получено на месторождении с помощью рационального в технико – экономическом отношении водозаборного сооружения при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требованиям целевого использования в течение расчетного срока водопотребления при условии отсутствия экологически негативных последствий эксплуатации. При решении вопросов использования подземных вод для конкретных нужд основное значение имеет оценка эксплуатационных запасов подземных вод. Только величина эксплуатационных запасов позволяет судить о возможности и целесообразности использования подземных вод.

Для количественной оценки эксплуатационных запасов целесообразно использовать балансовое уравнение («дельта– баланс») эксплуатационного водоотбора:

$$Q_3 = \Delta V_3/t + \Delta Q_p + \Delta Q_n, \text{ м}^3/\text{сут},$$

где ΔV_3 – используемая величина естественных запасов; t – срок эксплуатации, сут; ΔQ_p – изменение расхода дренирования потока в области влияния водоотбора (разгрузка); ΔQ_n – изменение величины питания подземных вод в той же области (восполнение).

Балансовая структура эксплуатационных запасов пресных подземных вод, пригодных для хозяйственно– питьевых целей зависит от

типа месторождения подземных вод и условиями связи эксплуатируемого водоносного горизонта с участками инфильтрационного питания, поверхностными водами и смежными (непосредственно неэксплуатируемыми) водоносными горизонтами. В качестве *основных типов месторождений* в настоящее время рассматриваются месторождения: 1) подземных вод в речных долинах; 2) артезианских бассейнов платформенного типа; 3) артезианских бассейнов межгорных впадин и конусов выноса; 4) ограниченных по площади структур и массивов трещиноватых или закарстованных пород и потоков трещинно– жильных вод зон тектонических нарушений; 5) грунтовых вод песчаных массивов; 6) межморенных отложений; 7) подземных вод области распространения многолетнемерзлых пород. Суммарные прогнозные ресурсы пресных подземных вод территории России составляют 1098 млн м³/сут. Из этого количества по максимальным оценкам непосредственно используется около 170 млн м³/сут, что составляет в среднем по стране около 10% суммарного водопотребления. Доля использования подземных вод в структуре водопотребления существенно различается по регионам и климатическим зонам. Примерно в 50 % городов России хозяйственно– питьевое водоснабжение основано на использовании подземных вод, примерно 25 % используют совместно поверхностные и подземные воды, 15–20 % – только поверхностные воды. Наиболее широко эксплуатируются месторождения подземных вод аллювиальных отложений речных долин, доля которых составляет около 60% общего объема используемых запасов пресных подземных вод, месторождения артезианских бассейнов – около 15 % и трещинно – карстовых вод – 8 %.

2.8 Охрана подземных вод от истощения и загрязнения

Запасы подземных вод относятся к возобновляемым природным ресурсам но, как и другие ресурсы, они не являются неисчерпаемыми. Объемы использования подземных вод должны соотноситься с объемами их возобновления в естественных и нарушенных условиях, т. е. не должны превышать их. В противном случае происходит невозполнимая сработка запасов подземных вод, что с течением времени неизбежно приводит к их *истощению*.

В результате истощения запасов подземных вод происходит снижение уровней до глубин, превышающих расчетные значения

«допустимых понижений», при которых их эксплуатация становится экономически невыгодной. Истощение подземных вод может привести к серьезным экологическим проблемам, таким как сокращение поверхностного (речного) стока, изменение водного режима и баланса природных ландшафтов и, как следствие, к изменению водного режима почвенного слоя, гибели или угнетению растительности и т. д.

Основными общими мерами по предотвращению истощения подземных вод являются:

- организация строгого контроля за использованием подземных вод, – сокращение отбора воды на участках с перепонижением уровня относительно расчетных значений,
- переоценка запасов подземных вод с учетом опыта эксплуатации и др.

В качестве специальных мер используют специальные инженерные мероприятия по созданию источников дополнительного искусственного восполнения запасов подземных вод (искусственные ресурсы).

Под термином *загрязнение подземных вод* понимают изменение их качества, приводящие к превышению допустимых концентраций отдельных загрязняющих компонентов (ПДК), изменению общей минерализации, физических и органолептических свойств воды, делающие ее непригодной для использования.

Различают следующие виды загрязнения подземных вод:

- *химическое* может быть органическим (фенолы, ядохимикаты и др.) и неорганическим (соли, кислоты, щелочи), токсичным (мышьяк, соли цинка, ртути, свинца и др.) и нетоксичным. Химическое загрязнение может распространяться на значительную площадь (более 10 км), особенно в условиях хорошего оттока грунтовых вод;

- *бактериальное загрязнение* – это появление в подземных водах патогенных бактерий, как правило, имеющее временный характер;

- *радиоактивное загрязнение* – попадание в подземные воды радиоактивных элементов (стронций – 90, уран, радий – 226, цезий) опасное даже в незначительных концентрациях. Попадание происходит в результате взаимодействия подземных вод с радиоактивными горными породами или при выпадении на поверхность

земли и инфильтрации в нижезалегающие водоносные горизонты радиоактивных отходов;

– *механическое загрязнение* – попадание в подземные воды механических примесей, содержащихся в сточных водах преимущественно по крупным трещинам и пустотам. Механическое загрязнение, в первую очередь, ухудшает физические (цвет, прозрачность) и органолептические (вкус, запах) свойства воды.

– *термическое (тепловое) загрязнение* возникает в следствии перемешивания подземных вод с более теплыми природными поверхностными или техногенными сточными водами, инфильтрующимися как с поверхности, так и закачиваемыми через поглощающие скважины.

При эксплуатации сооружений и систем водохозяйственного комплекса (водоснабжения, канализации и оросительных систем) чаще всего встречается химическое и бактериальное загрязнение. Загрязняющие вещества, как правило, попадают в подземные воды с поверхности земли, поэтому загрязнению наиболее подвержены верховодка и грунтовые воды, так как ближе всего расположены к поверхности и не защищены сверху водонепроницаемыми грунтовыми слоями.

Для предупреждения загрязнения подземных вод определяющее значение имеет выбор места расположения их водозаборов. При выборе должны соблюдаться следующие правила:

– расположение водозаборов выше по току подземных вод, чем очаги загрязнения;

– водозабор подземных вод, по возможности, не должен размещаться в непосредственной близости от поверхностных водоемов и морей, во избежание попадания загрязненных и соленых вод, а также вблизи сельскохозяйственных и промышленных предприятий, сбрасывающих сточные воды;

– запрещено устраивать водозаборы вблизи скотомогильников, ферм, птицефабрик и кладбищ.

Эффективной мерой по борьбе с загрязнением подземных вод являются инженерные мероприятия, основной задачей которых является предотвращение попадания в воды загрязняющих веществ:

– очистка сточных вод;

– создание безотходных производств;

– экранирование искусственных водоемов для предотвращения фильтрации из них;

– дренаж профильтровавшихся стоков (перехватывание до попадания в подземные воды).

Важнейшей мерой по предотвращению загрязнения является устройство вокруг водозаборов подземных вод зон (*поясов*) санитарной охраны – территорий с особым режимом, исключающим возможность загрязнения и ухудшения качества воды. Каждый водозабор подземных вод, используемый для хозяйственно–питьевого водоснабжения, должен иметь два пояса санитарной охраны. Первый пояс – *зона строгого режима* – имеет радиус не менее 30 м при эксплуатации артезианских вод и не менее 50 м при эксплуатации грунтовых. Радиус второго пояса, называемый *зоной ограничений*, зависит от гидрогеологических условий и характера водозабора. Проект зон санитарной охраны разрабатывается как составная часть проекта водозабора и согласовывается с органами санитарного надзора.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о происхождении подземных вод, дайте их классификацию по происхождению.
2. Дайте классификацию подземных вод по условиям залегания и гидравлическим признакам.
3. Перечислите основные виды и законы движения подземных вод. Движение воды в зоне аэрации. Инфильтрация.
4. Дайте оценку подземных вод для питьевого водоснабжения и орошения.
5. Что такое грунтовые воды? Связь грунтовых вод с климатом, рельефом, поверхностными и артезианскими водами. Роль грунтовых вод в заболачивании и засолении земель, в сельскохозяйственном водоснабжении.
6. Что такое артезианские воды? Условия образования, залегания, распространения. Области питания, напора, разгрузки. Значение артезианских бассейнов для водоснабжения и орошения

3 ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГРУНТОВЕДЕНИЯ

Одной из основных целей инженерно – геологических изысканий для строительства является определение свойств горных пород. На основании данных о характеристиках горных пород на объекте решается вопрос об инженерной возможности и экономической эффективности строительства, назначаются параметры проектируемого объекта. Методика определения характеристик и классификация горных пород по ним проводится в соответствии с ГОСТ 25100.2011, СНиП 11.02–96, СП 22.13330.2011. Рассмотрим основные параметры горных пород, определяющие инженерно–геологические условия строительства.

Коэффициент пористости e – отношение объёма пор в грунте к объёму твёрдой части сухого грунта. Коэффициент пористости вычисляется по формуле:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho} (1+W) - 1.$$

Пористость n – это отношение объёма пор в грунте к объёму всего грунта, включая поры. Вычисляют пористость по формуле:

$$n = \frac{e}{1+e}.$$

Плотность сухого грунта ρ_d , г/см³, – это отношение массы твёрдых частиц к объёму образца грунта. Этой характеристикой пользуются для контроля качества искусственного уплотнения грунтов. Плотность сухого грунта вычисляют по формуле:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+W},$$

где W – природная влажность грунта в долях от 1.

Удельный вес грунта γ , кН/м³, определяют в зависимости от его плотности:

$$\gamma = \rho g ,$$

где g – ускорение свободного падения в вакууме – $9,81 \text{ м/с}^2$.

Удельный вес частиц грунта γ_s , кН/м^3 , зависящий от его плотности:

$$\gamma_s = \rho_s g .$$

Удельный вес грунта во взвешенном состоянии γ_e , кН/м^3 , определяется для грунтов, расположенных ниже уровня подземных вод, кроме глин и суглинков твёрдых и полутвёрдых, так как они являются водоупорными грунтами. Удельный вес грунта во взвешенном состоянии зависит от удельного веса частиц грунта и коэффициента пористости:

$$\gamma_e = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}$$

где γ_w – удельный вес воды, принимаемый равным $9,81 \text{ кН/м}^3$.

Полная влагоёмкость W_n , %, – это влажность грунта, соответствующая полному заполнению пор водой:

$$W_n = \frac{e \rho_w}{\rho_s} 100,$$

где плотность воды $\rho_w = 1 \text{ г/см}^3$.

Сопротивление сжатию скальных пород ($R_{сж}$, МПа) – показатель их механической прочности, который определяют на специальных прессах. Сопротивление сжатию равно максимальному давлению на образец горной породы не разрушающему его. Морозостойкость таких пород, знание которой необходимо, например, при использовании породы в качестве строительного материала, определяют раздавливанием образца после многократного промораживания и оттаивания его и сравнением с данными, полученными на образцах до промораживания.

Угол естественного откоса рыхлых пород (песков, гравия и др.) – это максимальный угол наклона поверхности сыпучего грунта к горизонту (откоса), при котором сохраняется устойчи-

вость этого откоса. Этот угол определяется силами трения между частицами породы, зависящими от гранулометрического и минералогического состава породы, формы зерен, влажности и др. Угол естественного откоса устанавливается лабораторными опытами на образцах в сухом состоянии и под водой. С углом естественного откоса отождествляют угол внутреннего трения, который является одной из основных характеристик прочности грунта.

Пластичность – это способность глинистых пород изменять форму без разрыва сплошности под влиянием внешнего механического воздействия и после прекращения его сохранять эту форму. Пластичность тесно связана с влажностью породы, определяющей верхний (влажность на границе текучести – W_L) и нижний (влажность на границе раскатывания – W_p) пределы пластичности, выражаемые в массовых процентах влажности и определяемые согласно ГОСТ 25100– 95. Разность между верхним и нижним пределами пластичности называется числом пластичности (J_p). Отношение разности природной влажности грунта и влажности на границе раскатывания к числу пластичности называется показателем текучести (J_L). Разновидность глинистого грунта в зависимости от показателей консистенции определяют в соответствии с таблицами 10, 11.

Таблица 10 – Разновидность глинистого грунта в зависимости от числа пластичности и содержания песчаных частиц

Разновидность грунтов	Число пластичности	Содержание песчаных частиц (2 – 0,05мм), % по массе
Супесь:		
– песчанистая	1–7	≥ 50
– пылеватая	1–7	< 50
Суглинок:		
– лёгкий песчанистый	7–12	≥ 40
– лёгкий пылеватый	7–12	< 40
– тяжёлый песчанистый	12–17	≥ 40
– тяжёлый пылеватый	12–17	< 40
Глина:		
– лёгкая песчанистая	17–27	≥ 40
– лёгкая пылеватая	17–27	< 40
– тяжёлая	> 27	Не регламентируется

Пластичность зависит от минералогического и гранулометрического состава породы, состава и концентрации поровых растворов и других факторов.

Сжимаемость – способность пород уменьшаться в объеме под действием внешней нагрузки. Сжатие песков происходит быстро и мало связано с их влажностью. Сопротивление песков сжатию зависит от трения между частицами, возникающего при перемещении их. В отличие от песков сжимаемость глинистых пород зависит от их влажности, минералогического состава, характера структурных связей между частицами грунта и других факторов. Неравномерная сжимаемость глинистых пород в основании сооружений может быть причиной их неравномерной осадки и деформации. Сжимаемость определяют на основании *компрессионных испытаний* в специальных приборах – *одомерах*, подвергая образцы сжатию при разных нагрузках, в условиях, исключающих возможность бокового расширения грунта.

Таблица 11 – Разновидность глинистого грунта в зависимости J_L

Разновидность глинистых грунтов	Показатель текучести J_L
Супесь: – твёрдая – пластичная – текучая	< 0 0–1 > 1
Суглинки и глины: – твёрдые – полутвёрдые – тугопластичные – мягкопластичные – текучепластичные – текучие	< 0 0– 0,25 0,25– 0,50 0,50– 0,75 0,75– 1,00 > 1,00

Сопротивление сдвигу в песчаных породах обусловлено силами трения между частицами, в глинистых породах, кроме того – силами сцепления. Силы сцепления, в свою очередь, обусловлены внутренними структурными связями. Сопротивление сдвигающему усилию как песчаных, так и глинистых пород возрастает с увели-

чением давления. Для определения сопротивления применяют приборы различных конструкций (например, прибор прямого среза). Срез проводят при разных вертикальных (уплотняющих) нагрузках, минимальное горизонтальное (сдвигающее) усилие, приводящее к разрушению образца грунта, фиксируется. Результаты опытов представляют в виде графиков зависимости сопротивления грунтов сдвигу от вертикальной нагрузки. График имеет вид прямой, для песков она проходит через начало координат, для глинистых пород отсекает на оси ординат отрезок, равный силе сцепления.

Просадочностью называют доуплотнение лессов и лессовых пород в результате увлажнения их, сопровождающееся опусканием поверхности земли. Это свойство лессов и лессовых пород обусловлено их геологической историей, высокой пористостью и т. д. Для количественной оценки степени просадочности монолиты грунтов подвергают параллельным компрессионным испытаниям при естественной влажности и после насыщения водой. Просадочные свойства определяют также в полевых условиях путем замачивания пород в опытных котлованах.

Контрольные вопросы

1. Понятие о скважности и количественная ее оценка (пористость и коэффициент пористости). Влажность горных пород. Виды влажности, способы определения и единицы измерения.
2. Что такое гранулометрический состав грунтов? Способы его определения и формы выражения анализов.
3. Дайте определение влагоемкости, водоотдачи, водопроницаемости горных пород. Их количественная оценка.
4. Перечислите и дайте характеристику основным инженерно-геологическим свойствам горных пород: плотность и объемная плотность, угол естественного откоса, пластичность, набухание, усадка.
5. Перечислите и охарактеризуйте методы аналитического и лабораторного определения основных физико-механических свойств грунтов.

4 ПРОЦЕССЫ В ПРИРОДНОЙ СРЕДЕ И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Геологические процессы, происходящие на поверхности земли, называют *экзогенными процессами*. К ним относятся выветривание, эрозия, воздействие на геологическую среду ветра, осадков, поверхностных водоемов, живых организмов, гравитационных сил и др. Рассмотрим основные экзогенные процессы, оказывающие наиболее существенное влияние на инженерно– геологические условия строительства объектов водохозяйственного назначения.

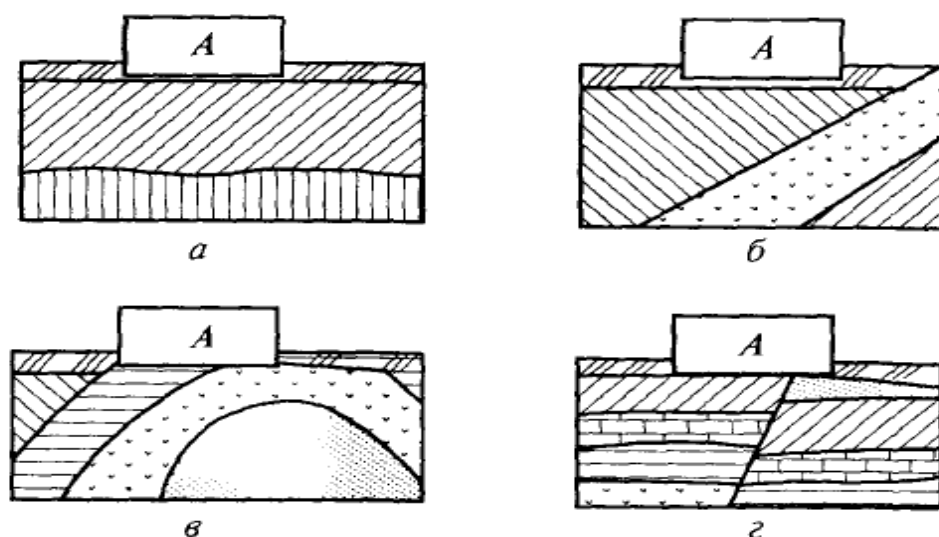


Рисунок 20 – Виды строения геологической толщи по стройпригодности: а, б – благоприятные условия; в – малоблагоприятные; г – неблагоприятные

Эрозия – это разрушение горных пород под воздействием внешних факторов, действующих на поверхности земли, таких как ветер, воды поверхностного стока, кислоты, щелочи, живые организмы и др. Эрозию, вызванную поверхностным стоком, разделяют на 2 вида. *Плоскостная эрозия* – это эрозия, вызванная сплошным потоком воды при снеготаянии, обильных осадках или паводковых водах. Разрушительное воздействие распространяется на поверхностный слой горных пород, но на значительной по площади территории. В результате разрушается самый ценный в сельскохозяйственном отношении плодородный почвенный слой. Растекаясь по расчлененному рельефу, сплошной поток воды разделяется на отдельные водотоки (ручьи), которые размывают горные породы

на более значительную глубину, образуя овраги, промоины, балки. Такой вид эрозии называют *струйчатой эрозией*. Наличие оврагов, балок и промоин существенно осложняет инженерно– геологические условия строительства.

В результате переноса поверхностным стоком и последующего накопления продуктов выветривания горных пород (*элювия*) образуются наносы на склонах (*делювий*) в понижениях рельефа (*пролювий*). По своим инженерно– геологическим характеристикам делювиальные отложения могут использоваться как основания зданий и сооружений. Пролювий представляет собой рыхлые образования, неоднородные по составу, поэтому, как правило, имеет неудовлетворительные строительные характеристики.

Эрозия, вызванная механическим воздействием на горные породы ветра, называется *дефляцией* (выдуванием) или ветровой эрозией. Кроме механического разрушения горных пород, под воздействием ветра происходит перенос и накопление продуктов разрушения. Все эти процессы называют *эоловыми процессами*. Современные эоловые отложения – это в основном отложения песка и пыли. Пески могут быть подвижными (дюны, барханы), или закрепленными (грядовые пески), где их движение остановлено растительностью. Подвижные пески могут заносить застроенные территории, сельхозугодия и даже целые населенные пункты. Подвижность песков возникает вследствие антропогенного или естественного уничтожения растительности. Строительство в районах с наличием подвижных песков требует проведения специальных мероприятий по предотвращению их негативного воздействия.

Подобно действию ветра, *движение речной воды* так же производит существенную геологическую работу в виде разрушения (эрозии), переноса и накопления (аккумуляции) горных пород. Отложения горных пород, сформировавшиеся под воздействием речного стока, называются *аллювиальными*. Значительная часть аллювиальных отложений скапливается в русле рек и на пойме. Мощность их может достигать нескольких десятков метров. В зависимости от места аккумуляции (русло реки, пойма, старица) аллювиальные отложения имеют различные физические характеристики и структуру. Русловой аллювий достаточно прочный и может использоваться в качестве основания под тяжелые сооружения, мостовые переходы. Пойменный аллювий, представленный твердыми

суглинками и глинами, тоже является хорошим основанием, если не имеет просадочных свойств. В связи с многослойностью аллювиальных отложений, необходимо учитывать различие их свойств в вертикальном разрезе, т. к. наличие прослоек и линз, сложенных слабыми грунтами может существенно усложнить инженерно-геологические условия строительства.

Геологическая деятельность моря наиболее существенно проявляется в зоне *шельфа* – прибрежной мелководной зоне на расстоянии до 200 м от берега. Вследствие вертикальных движений земной коры море может «наступать» на берег, затапливая прибрежные участки суши, или «отступать» от берегов, оставляя прибрежные участки непокрытыми водой. Такие процессы называют *трансгрессией* и *регрессией* соответственно. В районах подверженных трансгрессии необходимо предусматривать мероприятия по предотвращению затопления. В результате волнового воздействия и воздействия морских течений на горные породы, слагающих прибрежные территории, происходит их разрушение – *абразия*. Величина и интенсивность абразии зависит от силы воздействия волн на горные породы и геологических характеристик этих пород. Наиболее подвержены разрушению берега, сложенные рыхлыми осадочными отложениями, наименее – скальными породами. На обрывистых берегах волновое размывание происходит интенсивнее, чем на пологих. Морские отложения имеют значительное распространения в пределах суши, где ведется активная хозяйственная деятельность, поэтому оценке строительных свойств этих отложений следует уделять определенное внимание. Наиболее однородными по свойствам и значительными по мощности являются глубоководные отложения. Шельфовые и береговые отложения имеют слоистую разнородную по свойствам структуру. Древние морские отложения являются хорошим основанием, если не имеют примесей пирита или водорастворимых солей. Надежным основанием являются морские отложения обломочного происхождения (пески, галечники). Мощные слои прибрежного ила относятся к слабым грунтам.

Выветривание – изменение физической структуры, химико-минералогического состава и свойств горных пород под воздействием экзогенных геологических процессов. Слои выветрелых горных пород литосферы, залегающие, как правило, на поверхно-

сти земли называют *корой выветривания*. Продукты выветривания, оставшиеся на месте их образования, называют *элювием*.

Различают 3 вида выветривания:

– *физическое выветривание* – это механическое разрушение пород под воздействием воды, ветра, температурных перепадов, давления и других факторов. Физическое выветривание, как правило, не связано с изменением химического состава горной породы. Физическому выветриванию наиболее подвержены рыхлые осадочные породы и скальные трещиноватые породы;

– *химическое выветривание* – разрушение или изменение свойств горных пород в результате растворения или изменения их первоначального химического состава. Основными агентами химического выветривания является вода, агрессивные химические соединения, такие как кислоты и щелочи. Интенсивность химического выветривания зависит от площади и интенсивности воздействия агентов выветривания и устойчивости горных пород к растворению и химическим реакциям. В условиях высоких температур, обуславливающих ускорение химических реакций, ускоряются процессы химического выветривания. Наиболее устойчивыми к выветриванию являются скальные горные породы, содержащие устойчивые к воздействию химических соединений минералы – кварц мусковит, корунд и др.;

– *биологическое (органическое) выветривание* является разновидностью физического или химического выветривания, но основным фактором изменения горных пород при этом являются растения и живые организмы. Например, физическое разрушение горных пород корнями растений, землеройными животными, химическое разрушение под воздействием органических кислот, жизнедеятельности микроорганизмов и др.

Процессы выветривания оказывают существенное и, как правило, отрицательное влияние на инженерно– геологические условия строительства. В результате изменения физико– механических свойств, горные породы могут стать не пригодными в качестве строительных материалов и оснований под сооружения, или пригодными с существенными ограничениям. Глубинные магматические породы под воздействием выветривания теряют свою прочность, образуя кору выветривания, состоящую из рыхлых продуктов разрушения. Для глинистых выветрелых грунтов характерны

процессы *набухания*, *усадки*, образования и увеличения трещин, повышения пористости, что резко снижает сопротивление сдвигу и увеличивает сжимаемость пород, т.е. значительно ухудшает их строительные свойства как оснований сооружений.

Гравитационное движение горных пород происходит на склонах рельефа местности. Процессы гравитационного движения характерны для горных и холмистых территорий со значительными уклонами поверхности земли, по которым горная порода может перемещаться за счет собственной силы тяжести и действия поверхностных или подземных вод. Наиболее распространенными процессами этого вида являются оползни, обвалы и осыпи.

Оползни – это смещение глинистых горных пород с покрывающими их отложениями по склонам на берегах рек, озер, морей и различных сооружений, имеющих откосы. Скорость движения оползней изменяется от долей миллиметра в сутки до нескольких десятков метров в час. Поверхность, по которой происходит движение оползня, называется *поверхностью скольжения*, или *смещения*. Линию пересечения поверхности скольжения со склоном ниже оползня называют подошвой оползня. Она может быть на уровне основания склона, выше или ниже его. В результате оползней склоны приобретают характерное очертание – почти отвесную плоскость отрыва в верхней части склона, внизу – бугристую массу тела оползня.

Обвалы – смещение горных пород с опрокидыванием и дроблением (скатывание горных пород), которые происходят обычно на крутых склонах ($45\text{--}50^\circ$), сложенных преимущественно скальными или твердыми глинистыми породами. Развитию обвалов часто предшествуют процессы выветривания. Обвалы часто возникают при землетрясениях. В горных районах возможны оползни – обвалы, при которых одновременно происходит скольжение и скатывание пород по поверхности смещения. Обвалы также могут возникать на откосах строительных сооружений (карьеров, траншей, котлованов).

Осыпи – накопление продуктов выветривания горных пород у подножия склонов – это одна из форм делювиальных отложений. Разрушенные горные породы скатываются к основанию склона под действием собственной массы. Такой процесс называется *осыпанием*. Мощность осыпей может достигать нескольких десятков

метров. Осыпи могут перемещаться (*действующие осыпи*) в результате сильного увлажнения поверхности и увеличения собственного веса со скоростью достигающей 1 м/год.

Процессы гравитационного движения горных пород по склонам существенно осложняют строительство и эксплуатацию объектов хозяйственного назначения, или делают их невозможными, вызывая разрушение построек, завалы инженерных коммуникаций, создавая завальные водоемы (т.е. водоемы, образовавшиеся в результате перегораживания обвалами и оползнями естественных водотоков), сокращая площади сельхозугодий. При строительстве на территориях с высокой вероятностью оползневых явлений, обвалов или осыпания необходимо предусмотреть мероприятия по предотвращению их разрушающего воздействия.

Механическая суффозия – процесс выноса мелких частиц породы движущейся подземной водой. Этот процесс является следствием гидродинамического давления, которое оказывает на породу фильтрующаяся вода. Суффозия обычно происходит в песчаных породах, которым по сравнению с глинистыми свойственна большая скорость фильтрации. Суффозия в основании сооружений может привести к неравномерной осадке и даже к аварии, если они построены без учета этого явления.

Химической суффозией называют процесс растворения или выщелачивания водой горных пород. В результате растворения пород и выноса из них продуктов растворения возникают *карстовые процессы* – образование пустот и пещер различных размеров (*карстовые пещеры*). Для рельефа закарстованных территорий характерны *карстовые воронки*. Они образуются вследствие обрушения кровли карстовой полости (воронки провального происхождения) или размыва и выщелачивания породы, просачивающейся поверхностной водой. Карст опасен в основании сооружений, так как возможны провалы сводовой части пустот, значительная фильтрация воды из водохранилищ и каналов. Поэтому при выборе мест для размещения плотин, водохранилищ и других сооружений следует избегать закарстованных участков.

Охрана окружающей среды. Строительство и эксплуатация водохозяйственных объектов оказывают существенное влияние на окружающую среду в целом и в частности на геологическую. При этом водохозяйственные мероприятия (гидротехнические мелио-

рации, водоснабжение, обводнение земель и др.) оказывают на геологическую среду даже большее влияние, чем на другие объекты окружающей среды, так как могут, а в некоторых случаях даже имеют целью, коренным образом преобразовывать ее. Возможными негативными последствиями такого преобразования в геологической среде могут стать следующие:

- переувлажнение, заболачивание и засоление земель;
- нарушение плодородного почвенного слоя;
- недопустимый подъем и засоление подземных вод;
- истощение ресурсов подземных вод;
- эрозия земель
- обвалы, осыпи, оползни, провалы земной поверхности и другие геологические процессы, спровоцированные хозяйственной деятельностью.

В связи с этим одной из первостепенных задач является предотвращение этих негативных последствий и разработка мероприятий по восстановлению (рекультивации) объектов, на которых их не удалось избежать. Это сложные задачи, требующие комплексного учета огромного количества экологических, инженерно-технических, экономических и социальных факторов. Но в современных условиях эти задачи являются неотъемлемой частью при разработке любых хозяйственных мероприятий, оказывающих влияние на окружающую среду.

В настоящее время в России действует ряд нормативных документов, по охране и восстановлению земель при строительстве, которые регламентируют уровень вмешательства хозяйственных мероприятий в окружающую среду, а также содержат рекомендации по составу и методам проведения работ по восстановлению окружающей среды после строительства и в период эксплуатации разного рода хозяйственных объектов. Эти нормы и рекомендации должны обязательно учитываться при разработке проектов водохозяйственного комплекса.

Для разработки более эффективных мер по охране геологической среды и предотвращению негативного влияния на нее проводится *мониторинг земель*, т.е. система наблюдений, оценки и прогноза состояния окружающей среды. Применительно к геологической среде такая система называется *литомониторингом*. Литомониторинг проводится на глобальном (мировом), национальном

(государственном), региональном областном, краевом) и местном (районном) уровне. Мониторинг осуществляют сеть наблюдательных станций, фиксирующих изменения и нарушения экологического состояния земель. Данные этих наблюдений используются в дальнейшем для предотвращения возможных и разработки мероприятий по восстановлению существующих нарушений. В компетенцию станций мониторинга входит контроль за соблюдением норм, правил и ограничений воздействия на окружающую среду, прописанных в соответствующих нормативных документах. В настоящее время, в работе государственных организаций, осуществляющих наблюдение за окружающей средой и ее охрану, оказывают активную помощь общественные организации и население, заинтересованное сохранить и улучшить условия своего проживания.

Контрольные вопросы

1. Назовите внешние (экзогенные) геологические процессы и явления. Классификация этих процессов.
2. Что такое Выветривание? Его виды и факторы возникновения. Элювий, его условия залегания, состав и свойства.
3. Какую геологическую деятельность обуславливает ветер? Дефляция,
4. Дайте определение эрозии, ее виды и последствия. Овраги, речные долины. Перенос и аккумуляция. Пролувий и аллювий.
5. Охарактеризуйте геологическая деятельность подземных вод. Карст. Суффозия. Роль экзогенных процессов в формировании горных пород, рельефа поверхности Земли

5. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Для получения необходимых инженерно – геологических данных при проектировании различных объектов ВХС проводят комплекс изыскательских (исследовательских) работ. Задачами таких работ являются: изучение закономерностей распространения и условий залегания подземных вод, формирования их режима и баланса, химического состава, изучение инженерно– геологического строения, свойств горных пород, геологических процессов, прогноза их изменения в процессе строительства и эксплуатации строящихся объектов и т.д. Методика проведения и состав изысканий регламентированы нормативными документами – СНиП 11.02 – 96 Инженерные изыскания для строительства, являющийся обязательным для исполнения и комплексом других нормативов и правил, носящих рекомендательный характер применительно для различных инженерных и геологических условий.

5.1 Изыскания на различных стадиях проектирования объектов ВХС

Программа изысканий, их масштаб и объем определяются характером проектируемых мероприятий, стадией проектирования и степенью сложности гидрогеологических условий. Кроме того, они зависят от изученности и площади проектируемого объекта. Проектирование объектов ВХС выполняют по следующим стадиям: технико– экономическое обоснование (ТЭО) объектов, технический проект, рабочие чертежи, технорабочий проект.

Задачами исследований на стадии *технико– экономическое обоснования (ТЭО)* являются:

- общая оценка геологического строения и гидрогеолого– инженерных условий объекта и прилегающих территорий;
- инженерно– геологические прогнозы и обоснование выбора первоочередных объектов;
- гидрогеологические и инженерно– геологическое обоснование принципиальных технических решений;
- гидрогеологическое обоснование мероприятий по охране природы;

- инженерно– геологическая и гидрогеологическая характеристика возможных вариантов сооружений (плотин, каналов, насосных станций и др.) и выбору оптимального варианта;

- рекомендации по использованию местных строительных материалов.

Инженерно– геологическое обоснование ТЭО выполняют на основе комплексной гидрогеологической и инженерно– геологической съемки масштаба 1:200 000.

Задачами инженерно– геологического обоснования на стадии *технического проекта* являются:

- установление с необходимой для данной стадии достоверностью важнейших гидрогеологических и инженерно– геологических особенностей региона, влияющих на проектные (конструктивные) решения и стоимость строительства;

- количественная оценка с установленной точностью расчетных гидрогеологических и инженерно– геологических параметров, закладываемых в основу проектных решений и обеспечивающих надежную работу запроектированных водохозяйственных систем и комплексов гидротехнических сооружений;

- составление прогнозов режима уровня и минерализации подземных вод и инженерно– геологических условий территории;

- гидрогеологическое обоснование проектных решений по использованию подземных вод для водоснабжения и орошения на основе конкретных данных государственного или территориального кадастра земель по подсчету запасов подземных вод, с разбивкой их по категориям;

- характеристика и выбор месторождений строительных материалов.

Для обоснования на стадии *технического проекта* комплексную съемку выполняют в масштабе 1:50000 (для простых и средних условий, а также для сложных условий при площади 20000–50000 га и более) или 1:25000 (для сложных гидрогеологических условий, а также для массивов с простыми и сложными условиями, но при площади менее 2000 га).

Для обоснования на стадии *рабочих чертежей* исследования проводят в основном для уточнения отдельных вопросов, возникших на этой стадии проектирования, например гидрогеологических

или инженерно– геологических параметров пород на отдельных участках строительства.

Технорабочий проект составляют при несложных природных условиях и площади проектируемого массива менее 1500 га. В результате исследования на этой стадии должен быть освещен весь комплекс гидрогеологических и инженерно– геологических вопросов, необходимых для проектирования.

5.2 Состав и методы изысканий

Инженерно – геологические изыскания проводятся в несколько этапов: подготовительный, полевой, лабораторный и камеральный.

Подготовительный этап заключается в сборе и анализе литературы и фондовых материалов по геологии, геоморфологии, гидрогеологии и инженерно– геологическим условиям района проектирования. Выполняют полевые рекогносцировочные обследования и т. д. Результаты подготовительных работ позволяют оценить в первом приближении гидрогеологические и инженерно– геологические условия района, степень их сложности, составить программу исследований.

На *полевом этапе* выполняется комплексная гидрогеологическая и инженерно– геологическая съемка, в результате которой изучают: геоморфологические условия, геологическое строение (происхождение, состав, возраст, условия залегания и мощность слоев горных пород), тектоническое строение, гидрогеологические условия (режимы, динамику, условия залегания и другие необходимые для проектирования параметры подземных вод), инженерно– геологические условия (современные и возможные инженерно– геологические процессы). Съемку выполняют путем описания естественных обнажений горных пород и выходов подземных вод на поверхность, проведения разведывательных буровых горно– проходческих работ и геофизических методов. Масштабы съемок зависят от стадийности проекта (см. выше).

Разведочные буровые горно– проходческие работы проводят путем *расчисток*, устройства *траншей, штолен, шурфов*, бурения *скважин* (рисунок 21). *Расчистки* – горизонтальные выработки, применяемые для снятия слоя рыхлого делювия или элювия с наклонных поверхностей естественных обнажений горных пород.

Траншеи – узкие (до 0,8 м) и неглубокие (до 2 м) горизонтальные выработки, с целью обнажения коренных пород залегающих под наносам. *Штольни* – это горизонтальные выработки, проходимые на склонах, для изучения пород в местах наклонного залегания слоев. Высота штолен 1,8– 2 м. *Шурфы* представляют собой вертикальные выработки, прямоугольные в плане (1,25×1,25 м или 1,5×1,5 м) — при проходке вручную, или цилиндрической формы – при проходке машинами. Глубина шурфов обычно – 2–3 м, максимальная – 5 м. Размеры шурфов позволяют спуститься в них, чтобы описать геологический разрез и отобрать монолиты породы для лабораторных исследований. *Буровая скважина* – круглая, вертикальная или наклонная выработка небольшого диаметра (обычно 100–150 мм), выполняемая специальным буровым инструментом (рисунок 22). Бурение скважин – один из наиболее важных и широко применяемых видов разведочных работ.

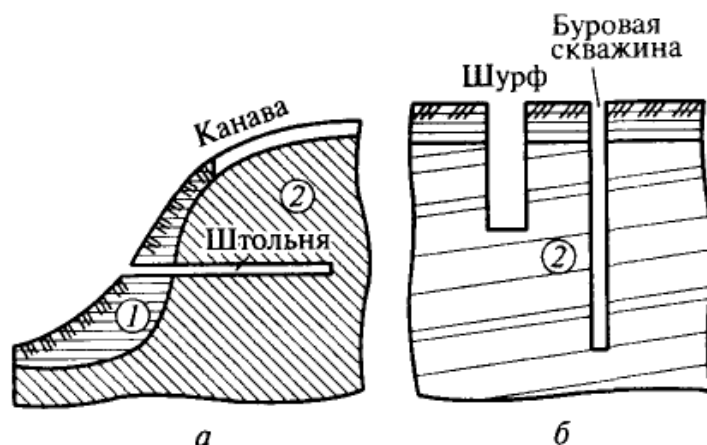


Рисунок 21 – Разведочные буровые горно– проходческие выработки:
а – горизонтальные, *б* – вертикальные, *1* – делювиальные отложения,
2 – коренные породы

Образцы горных пород извлекаются из скважины по мере ее углубления и изучаются различными полевыми или лабораторными методами. Бурение может быть ручным (посредством ручных буров) или механическим (с помощью специальных машин и механизмов). Глубина скважин зависит от гидрогеологических и инженерно– геологических условий района, характера проектируемых сооружений и т. д. При изысканиях для гидротехнического строительства глубина бурения может достигать сотен метров. Скважинами должны быть вскрыты грунтовые воды, а также напорные во-

доносные горизонты, которые подпитывают грунтовые воды или перспективны для водоснабжения и орошения. Часть скважин обязательно углубляют в водоупор, чтобы установить глубину его залегания и мощность.

Геофизические исследования основаны на измерении удельного электрического сопротивления пород, магнитных свойств, скорости распространения упругих колебаний и т. д. Геофизические методы применяют обязательно в сочетании с бурением опорных скважин, лабораторным и полевым изучением свойств горных пород и другими работами. В результате должна быть установлена для данного района связь состава и свойств пород с их показателями, получаемыми геофизическими методами исследований. Из геофизических методов в практике гидрогеологических и инженерно– геологических исследований широко применяют электрическую разведку и сейсморазведку.

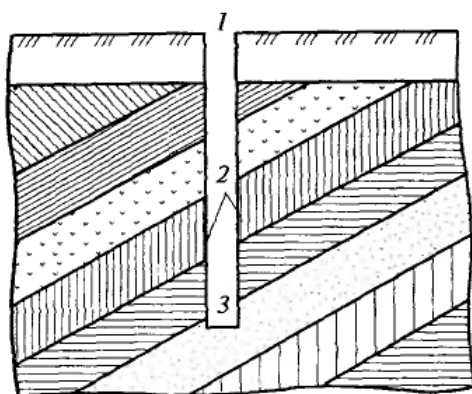


Рисунок 22 – Буровая скважина и ее структурные элементы:
1 – устье, 2 – стенки, 3 – забой

Электрическая разведка и электрический картаж разрезов буровых скважин основаны на изучении естественных или искусственно созданных в земной коре электромагнитных полей. Основные параметры измерений: удельное электрическое сопротивление пород (картаж), проницаемость – диэлектрическая и магнитная, зависящая от состава пород, залегания подземных вод и их минерализации. По разнице показаний какого либо из перечисленных параметров в пределах исследуемой геологической толщи можно делать выводы о ее строении. *Сейсморазведка* основана на изучении особенности полей упругих колебаний, искусственно создаваемых в горных породах взрывами в специально пробуренных

скважинах. Для этой цели можно использовать и механические приспособления — вибраторы. Сейсморазведка позволяет определять глубину залегания грунтовых вод, дочетвертичных пород, мощность выветрелой зоны, наличие тектонических нарушений в скальных породах, мощность талых пород в районах многолетней мерзлоты и т.д.

На *лабораторном этапе* изыскательских работ определяют фильтрационные, водно– физические, деформативные и прочностные характеристики горных пород, засоленность их, а также химического состава подземных вод. Исследования выполняют в полевых и стационарных лабораториях.

Камеральная обработка материалов изысканий и составление отчета – заключительный этап изыскательских работ. Материалы, полученные в результате подготовительных, полевых и лабораторных изысканий обрабатывают по мере их получения. Окончательную камеральную обработку и составление отчета выполняют после завершения всех работ. Собранный материал подвергают аналитической и графической обработке. Для оценки гидрогеологических параметров и составляющих баланса грунтовых вод путем решения обратных задач, прогнозов режима подземных вод и расчетов дренажа широко используют методы математического моделирования фильтрации реализованные на ЭВМ. Результаты работ графически изображают в виде карт и разрезов. Отчет содержит характеристику климата, рельефа и геоморфологии, геологического строения, гидрогеологических и инженерно – геологических условий и т. д. Кроме того, приводят прогнозы режима подземных вод и инженерно – геологических процессов, дают оценку запасов подземных вод и строительных материалов. На основе анализа существующих гидрогеологических, инженерно – геологических условий и прогноза их изменений излагают оценку и дают рекомендации, необходимые для проектирования водохозяйственных мероприятий, включая вопросы охраны природы.

5.3 Геологические карты и разрезы

По данным проведенных инженерно– геологических изысканий составляют геологические карты и разрезы. *Геологическая карта* – это проекция геологических структур на горизонтальную плоскость. Обычно, карту составляют в тех случаях, когда строительством охватываются большие территории, сопоставимые по площади с площадями городских районов, городов и большие. Базой для геологической карты является топографическая карта соответствующего масштаба. *Четвертичные геологические карты* – показывают расположение в плане четвертичных отложений, т. е. отложений находящихся на поверхности и покрывающих породы более раннего происхождения. Кроме того, на таких картах выделяют породы различного генетического типа (аллювиальные, ледниковые и др.), показывают литологический состав пород, находящихся на поверхности. *Карты коренных пород* – показывают расположение, литологический состав и другие характеристики пород расположенных под четвертичными породами и скрытые ими от прямого наблюдения. Карты коренных пород, в свою очередь, могут быть *стратиграфические* (показывающие границы распространения пород различного возраста, т. е. сформированные в различные геологические периоды (неогеновый, палеогеновый, меловой и т. д.)), *литологические* – показывающие состав, слагающих земную кору пород. Все геологические структуры на картах показывают определенным, присущим только для них обозначением.

В практике строительства чаще используют карты универсального назначения, в которых содержится различная информация необходимая, для проектирования того или иного строительного объекта. На таких картах одновременно показывают информацию литологического и стратиграфического характера, инженерно– геологических процессах и явлениях в пределах изучаемой территории (обвалы, оползни, карстовые воронки и т. д.) (рисунок 23). Для оценки гидрогеологических условий используют карты гидроизогипс (см. выше), минерализации и химического состава подземных вод. Существуют также *карты специального назначения*, используемые для оценки геологических условий определенного строительного объекта (плотины, трубопровода, дороги и др.) или показывающие конкретные инженерно – геологические характери-

стики изучаемой территории, например месторождений естественных строительных материалов, водосодержащих горных пород или пород зоны аэрации.

Масштабы геологических карт зависят от их детальности и назначения. Обычно для проектирования отдельных объектов промышленного и гражданского строительства используют масштабы 1:10000 и крупнее. Для строительства населенных пунктов, промышленных предприятий, крупных гидротехнических сооружений – масштабы 1:100000, 1:200000. Схематические или обзорные карты составляют в масштабе не более 1:500000. Они используются для оценки общих закономерностей формирования и распространения геологических условий на большой территории.

Инженерно – геологический разрез – это проекция геологических структур на вертикальную плоскость. Разрезы являются необходимой частью отчетных документов по инженерно – геологическим изысканиям независимо от их масштабности и назначения. В случае если в отчете используется карта (см. выше), геологические разрезы являются обязательным дополнением к ней. Разрезы строят по геологическим картам, если требуется показать геологическое строение большой по площади территории, например района строительства. Для наглядного изображения геологического строения участка строительства отдельного объекта разрезы, как правило, строят по данным геологической съемки (буровых скважин, шурфов и др.). На разрезе показывают стратиграфические и литологические характеристики, условия залегания пород, гидрогеологические условия, геологические процессы и явления, влияющие на условия строительства (рисунок 24). Масштабы геологических разрезов, как и карт, зависят от их детальности и назначения. В отличие от карт, разрезы имеют два масштаба: вертикальный и горизонтальный, причем первый всегда принимается в 10 и более раз крупнее, чем второй. Это связано с тем, что в вертикальном направлении на разрезе показываются гораздо меньшие расстояния, чем в горизонтальном (в несколько десятков и даже сотен раз), особенно при строительстве линейных сооружений (дорог, трубопроводов, каналов, оградительных дамб и др.).

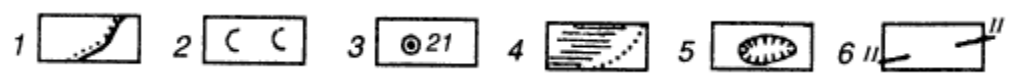
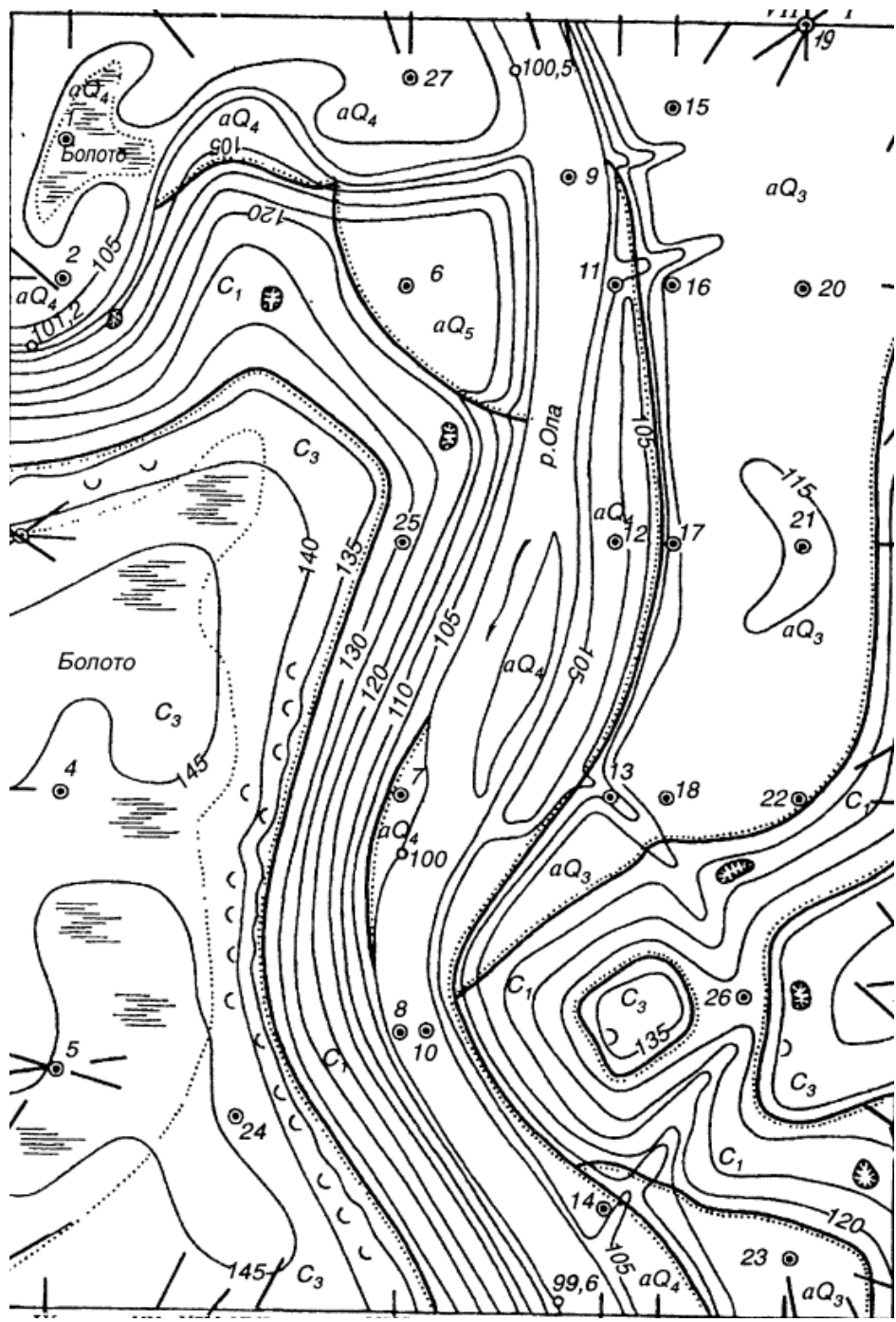


Рисунок 23 – Геологическая карта:
 1 – стратиграфическая граница; 2 – оползень; 3 – буровая скважина;
 4 – болото; 5 – карстовая воронка; 6 – линия разреза

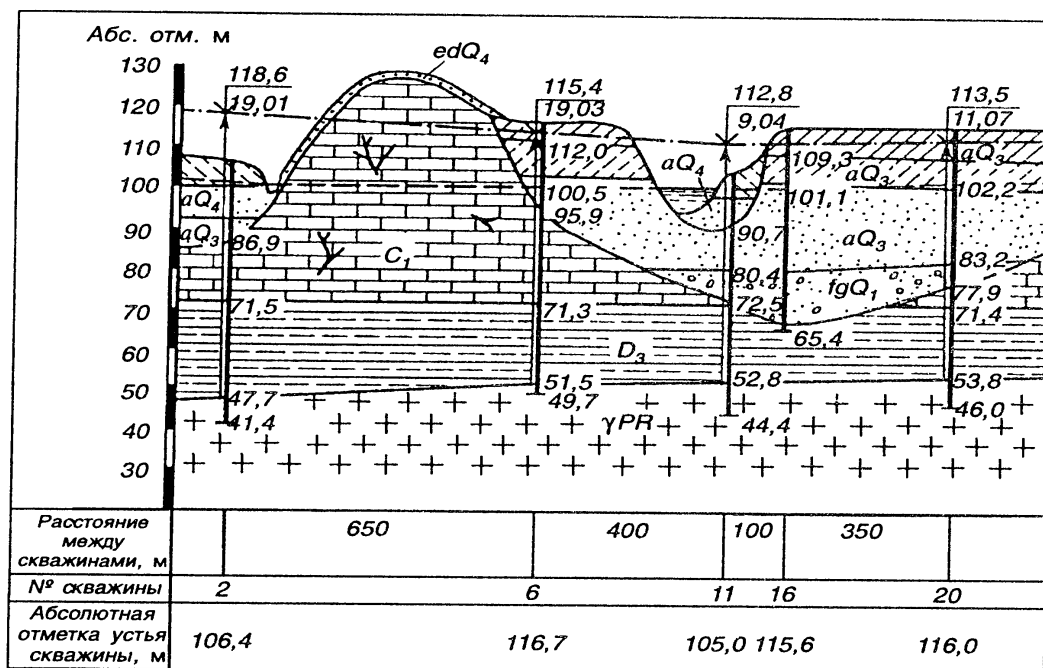


Рисунок 24 – Геологический разрез

Как правило, разрез более наглядно и подробно отражает геологические условия изучаемой территории, чем карта и позволяет характеризовать их на разных вертикальных уровнях, но в одной вертикальной плоскости. Для получения объемной характеристики геологического строения следует составить несколько взаимопересекающихся разрезов. Разрезы имеют первостепенное значение при инженерной характеристике и выборе слоев в качестве основания под сооружения, изучения гидрогеологических условий, общей инженерно– геологической оценке районов строительства или отдельных строительных участков.

Контрольные вопросы

1. Какие задачи решаются при проведении инженерно-геологических изысканий?
2. Перечислите этапы инженерно-геологических изысканий для строительства объектов водохозяйственного назначения
3. Перечислите цели и состав работ на подготовительном, полевом и камеральном этапах изысканий.
4. Что такое горная выработка? Дайте определение шурфа скважины, расчистки. Цели и методы их устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За долгие годы изучения человеком Земли накоплен большой практический и научный опыт о ее строении, свойствах и происходящих на Земле и в ее недрах природных и техногенных процессах. Этот опыт имеет огромное научное и практическое значение, поскольку любая деятельность человека так или иначе связана с Землей. Тем не менее, геологическая наука не стоит на месте. Новые научные разработки позволяют более полно и подробно понять природу геологических процессов, совершенствуются методы инженерной геологических изысканий, делающие их более точными и менее затратными.

Современные условия изыскательской, проектной и эксплуатационной деятельности специалиста в области природообустройства и водопользования требуют постоянного накопления и обновления знаний в различных отраслях науки и практики, в том числе по гидрогеологии и геологии. Без этих знаний невозможно провести объективную оценку условий строительства, грамотно запроектировать параметры инженерных систем и сооружений, составить прогноз изменений природных условий под влиянием техногенных воздействий. Все это предполагает регулярную и активную работу обучающегося, специалиста или научного работника с соответствующими источниками информации, такими как специальная учебная, научная, справочная и нормативная литература, ресурсы сети интернет и множество других информационных ресурсов.

Автор данного учебного пособия стремился в доступной и в то же время достаточно подробной форме раскрыть для обучающихся сложные вопросы устройства и функционирования геологической среды и ее взаимодействия с другими компонентами природного комплекса, а так же помочь изучить состав и методику инженерно – геологических изысканий, необходимых будущему специалисту в практической и научной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдаров И. П. Регулирование водно– солевого и питательного режима орошаемых земель. – М. : Агропромиздат, 1985. – 304 с.
2. Ананьев В. П. Инженерная геология : Учебник / В. П. Ананьев, А. Д. Потапов. – 2– е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2002. – 511 с.
3. Белоусова А.П. Экологическая гидрогеология / Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. – М. : Издание ИКЦ, 2006. - 397 с.
4. Всеволожский В. А. Основы гидрогеологии : Учебник. – 2– е изд., перераб. и доп. – М. : Изд– во МГУ, 2007. – 448 с.
5. Гальперин А.М. Геология: Часть III - Гидрогеология : учебник для ВУЗов / Гальперин А.М., Зайцев В.С., Харитоненко Г.Н., Норватов Ю.А. – М., 2009. - 400 с.
6. ГОСТ 25100.2011. Грунты. Классификация. – М. : Изд– во стандартов, 2012.
7. Директива Совета Европейского Союза 98/83/ЕС «О качестве воды, предназначенной для потребления людьми». – Брюссель, 1998.
8. Зекцер И. С. Подземные воды как компонент окружающей среды / И. С. Зекцер. – М. : Научный мир, 2001. – 328 с.
9. Ипатов, П. П. Общая инженерная геология: учебник / П. П. Ипатов, Л. А. Строкова. - Томск: Томский политехнический университет, 2012. – 365 с
10. Кац Д. М. Основы геологии и гидрогеология – 2–е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1981. – 351 с.
11. Кирюхин В.А. Общая гидрогеология : Учебник / В.А.Кирюхин. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный горный институт, 2008. - 439с
12. Концепция государственной политики устойчивого водопользования в Российской Федерации (Проект) / М– во природ. ресурсов РФ. – М. : Мелиорация и вод. хоз– во, 1998. – 55 с.
13. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем под ред. Н. Н. Веригина. – М. : Колос, 1970.

14. Леонова А.В. Основы гидрогеологии и инженерной геологии: учебное пособие / А.В. Леонова. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 149 с.

15. Пособие к СНиП 2.06.15– 85. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях. – М. : Госстрой РФ, 1986.

16. Руководство по обеспечению качества питьевой воды. / Рекомендации ВОЗ (Всемирная Организация Здравоохранения). – Женева, 2011.

17. Руководство по контролю качества питьевой воды 1992 г. – Нормы агентства по охране окружающей среды США (US EPA).

18. СанПиН 2.1.4.1074– 01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. – М. : Минздрав РФ, 2002.

19. СНиП 2.06.03– 85. Мелиоративные системы и сооружения/ Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.

20. СНиП 11– 02– 96 Инженерные изыскания для строительства. – М. : Госстрой РФ, 1997.

21. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах.– М. : Минрегионразвития РФ, 2010.

22. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83. – М. : Минрегионразвития РФ, 2011.

23. Чернышев С. Н. Задачи и упражнения по инженерной геологии : Учеб. пособие / Чернышев С. Н. Чумаченко А. Н., Ревелис И. Л. – 2– е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 254 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Таблица А1– Классификация подземных вод

Признак	Классификация	Значение
По общей минерализации, г/л	Сверхпресные, пресные, слабосоленоватые, сильно соленоватые, соленые, рассольные,	< 0,2 0,2–1,0 1–3 3–10 10–35 >35
По температуре, °С	Переохлажденные, холодные, теплые, горячие, весьма горячие, перегретые,	< 0 0– 20 20–37 37–50 50–100 >100
По степени жесткости, мг– экв/л	Очень мягкие, мягкие, умеренно жесткие, жесткие, очень жесткие,	<1,5 1,5–3,0 3,0–6,0 6,0–9,0 > 9,0
По величине рН	Очень кислые, кислые, нейтральные щелоч- ные, высоко щелочные,	< 5 5 – 7 6,8 – 9 9

Приложение Б

Таблица Б1 – Коэффициенты для пересчета содержания в воде главных ионов из мг в мг– экв

Ионы	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Коэфф– т	0,0164	0,0208	0,2820	0,0435	0,0499	0,0822

Приложение В

Химическая классификация состава воды С. А. Щукарева

Принадлежность воды к тому или иному классу в соответствии со схемой определяется содержанием главных ионов в количестве более 25 %– экв. По преобладающим анионам в воде присваивают название: хлоридная, сульфатная, гидрокарбонатная, хлоридно– сульфатная, хлоридно– гидрокарбонатная, сульфатно– гидрокарбонатная и хлоридно– сульфатно– гидрокарбонатная; по преобладающим катионам: натриевая, магниевая, кальциевая, натриево– магниевая, натриево– кальциевая, магниевое– кальциевая и натриево– магниевое– кальциевая. По общей минерализации каждый класс подразделяется на группы А – до 1,5 г/л, В – 1,5 – 10 г/л и С – более 10 г/л.

Таблица В1 – Химическая классификация состава воды

Элемент	HCO_3	HCO_3SO_4	HCO_3SO_4 Cl	HCO_3Cl	SO_4	SO_4 Cl	Cl
Mg	1	8	15	22	29	36	43
Ca, Mg	2	9	16	23	30	37	44
Ca	3	10	17	24	31	38	45
Na, Ca	4	11	18	25	32	39	46
Na	5	12	19	26	33	40	47
Na, Ca, Mg	6	13	20	27	34	41	48
Na, Mg	7	14	21	28	35	42	49

Приложение Г

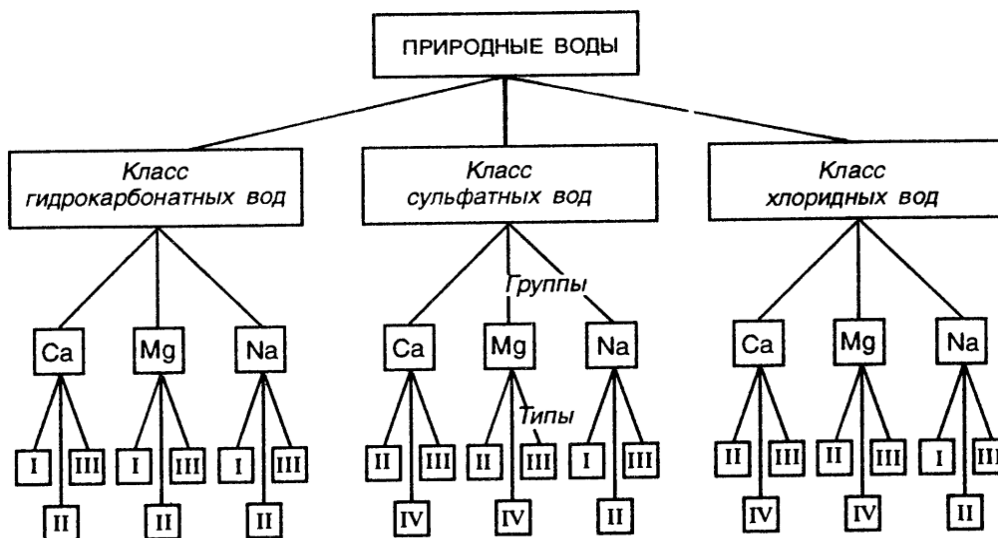


Рисунок Г1 – Химическая классификация подземных вод О.А. Алекина

Класс и группа устанавливается соответственно по преобладающему аниону и катиону, содержание которых выражено в мг– экв/л. Тип воды выделяется по соотношению ионов:

- I тип $\text{HCO}_3^- > (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$,
- II тип $\text{HCO}_3^- < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) < (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$,
- III тип $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$,
- IV тип $\text{HCO}_3^- = 0$.

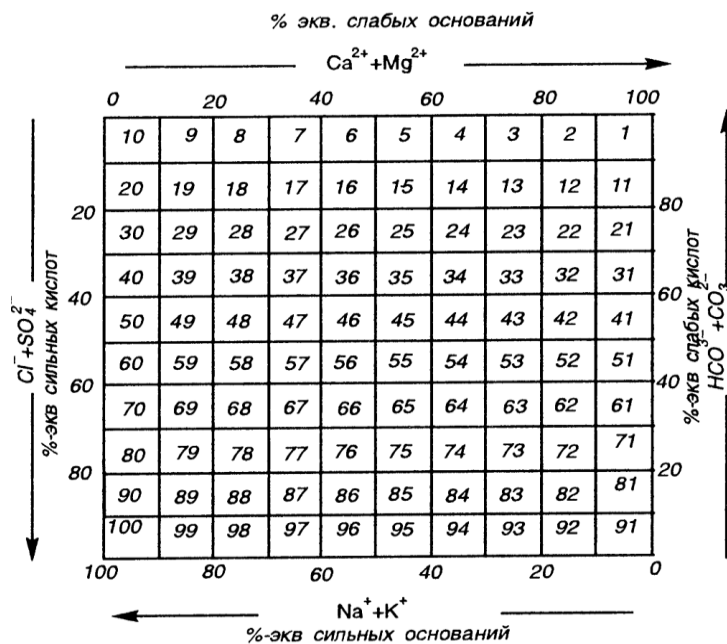


Рисунок Г2 – График– квадрат нумерации природных вод по Н.И. Толстихину

Учебное издание

Коленченко Константин Эдуардович

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ

Учебное пособие

В авторской редакции
Макет обложки – Н. П. Лиханская

Подписано в печать 23.10.2019. Формат 60 × 84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. – 3. Уч.– изд. л. – 4,9.

Тираж 100 экз. Заказ №

Типография Кубанского государственного аграрного университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13