

Р.Т.Нурекенова

ГИДРОЛОГИЯ

Курс лекций для студентов специальности 5В080500

Усть-Каменогорск
2019

7 ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

7.1 Физические и водные свойства горных пород

Подземные воды размещаются в порах и трещинах горных пород, слагающих верхнюю оболочку земли (земную кору). Глубина залегания, характер и направление движения, количество и качество подземных вод во многом зависят от физических и водных свойств горных пород и характера их залегания.

Горные породы состоят из минералов, т.е. природных соединений. Различные минералы не одинаковы по химическим и физическим свойствам (кварц, полевой шпат, алмаз, слюда и др.).

По условиям образования горные породы подразделяются на три группы: магматические, или изверженные (базальты, диабазы, гранит, диорит, порфирит и др.), метаморфические (гнейс, мрамор, сланцы, кварцит и др.) и осадочные.

Магматические породы с крупнокристаллическим строением образовались в результате застывания расплавленной магмы, поднявшейся с глубины земли. Эти породы обладают высокой прочностью, но в них почти всегда имеются трещины от очень небольших до значительных размеров.

Метаморфические породы образуются на значительных глубинах в результате изменений магматических и осадочных пород под действием большого давления и высоких температур. Эти породы с кристаллическо-зернистой структурой обладают меньшей прочностью, чем магматические.

Осадочные породы образовались на поверхности суши в водоемах в результате разрушения различных по составу горных пород, осадения веществ из растворов, жизнедеятельности животных и растительных организмов; ими покрыто около 75% площади земли.

К основным водным свойствам горных пород, от которых зависит накопление и размещение запасов влаги в них, относятся: влажность, влагоемкость, влагоотдача, водопроницаемость, недостаток насыщения и капиллярное поднятие.

Влажностью называется содержание в породе того или иного количества воды. Различают влажность весовую, которая определяется как отношение веса воды, находящейся в порах породы, к весу породы в абсолютно сухом состоянии, и объемную – как отношение объема воды в порах породы к общему объему последней.

Для характеристики степени влажности пород используют так называемую относительную влажность, показывающую, какая часть пор занята водой и определяемую по зависимости

$$K_w = n_w/n, \quad (30)$$

где n_w – объемная влажность;

n – пористость породы.

Следовательно, в зоне полного насыщения породы водой относительная влажность будет равна единице.

Влагоемкостью породы называется ее способность поглощать и удерживать определенное количество воды.

Различают следующие основные виды влагоемкости: полная, капиллярная, максимальная молекулярная и максимальная гигроскопическая.

Полной влагоемкостью называется максимально возможное содержание воды в породе при полном насыщении ее пор. Для песков полная влагоемкость равна объему пор – 100%. Глинистые и суглинистые грунты при насыщении водой увеличиваются в объеме, поэтому их полная влагоемкость несколько больше пористости.

Разность между полной влажностью породы называется *недостатком насыщения*.

Капиллярной влагоемкостью называется количество воды, удерживаемое капиллярными порами. Чем меньше размеры пор, тем больше капиллярная влагоемкость.

Наибольшей капиллярной влагоемкостью и капиллярным поднятием обладают глинистые породы, для которых она может быть равна полной влагоемкости по всей высоте капиллярной зоны увлажнения.

Максимальной молекулярной влагоемкостью называется максимальное количество воды, которое удерживают частицы породы силами молекулярного натяжения. Зависит она от механического состава породы, ее удельной поверхности и для данной породы является постоянной величиной. Чем меньше частицы, тем больше молекулярная влагоемкость.

Так, для частиц диаметром 1-0,5 мм она составляет 4,7% полной влагоемкости, а для частиц диаметром 0,25-0,1 мм – 44,8%.

Максимальной гигроскопической влагоемкостью называется количество воды, которое может быть поглощено породой из воздуха, полностью насыщенного водяными парами.

Чем больше общая поверхность частиц, тем больше гигроскопичность породы. Для тяжелых глин максимальная гигроскопичность составляет 23,8%, для суглинка – 3%, для мелкого песка – 0,03%.

Водоотдачей называется количество воды, которое может отдать грунт за счет стока из него свободной гравитационной воды.

Водопроницаемостью горных пород называется способность их пропускать через себя (поры и трещины) воду.

Количественно водопроницаемость характеризуется коэффициентом фильтрации. Чем крупнее поры и трещины, тем свободней проходит вода через породу и тем большим будет коэффициент фильтрации.

7. 2 Виды воды в горных породах

Горные породы в зависимости от степени их влажности содержат разнообразные виды воды: вода в самих минералах, твердая (лед), парообразная, связанная (гигроскопическая и адсорбционная) и свободная (подвешенная, капиллярная, инфильтрационная, грунтовая и напорная).

Гигроскопическая вода поглощается частицами горной породы из воздуха, прочно удерживается на поверхности молекулярными силами и передвигается в виде пара под влиянием разности упругостей водяных паров.

Адсорбционной водой называют связанную воду, которую поглощает и удерживает поверхность частиц не из паров, а из жидкого состояния, однако перемещается она в виде пара.

Подвешенная вода удерживается в породе сверх пленочной, соответствует наименьшей естественной влагоемкости и является свободной, но может достаточно прочно удерживаться породой.

Капиллярная вода образует зону увлажнения над верхней границей грунтовых вод под действием капиллярного давления, а иногда и напорного градиента. Степень увлажнения породы соответствует ее капиллярной влагоемкости.

Инфильтрационная вода перемещается в сухих породах под действием силы тяжести или гидростатического напора.

Степень увлажнения породы в зависимости от условий может соответствовать максимальной молекулярной или полной влагоемкости.

Различают **инфильтрацию (свободное просачивание)** и **нормальную фильтрацию**. В первом случае вода движется под влиянием сил тяжести, частично заполняя поры породы (рис.3, зона I). Во втором случае под действием тех же сил вода просачивается сплошным потоком, заполняя все поры в зоне растекания (рис.3, зона II).

Движение подземных вод в условиях полного заполнения пор водой (фильтрация) подчиняется закону Дарси:

$$Q = k_{\phi} F \Delta h / l , \quad (31)$$

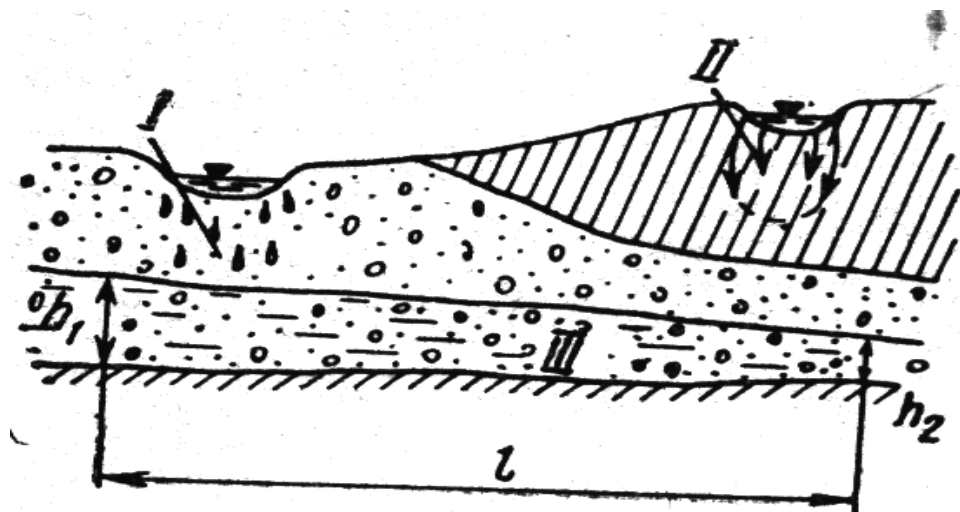
где Q – расход или количество воды, проходящей (фильтрующейся) через породу в единицу времени;

k_{ϕ} – коэффициент фильтрации, зависящий от свойств породы;

F - площадь поперечного сечения грунтового потока.

Если разделить расход потока на площадь его поперечного сечения, то получим выражение для определения скорости фильтрации:

$$U = Q / F = k_{\phi} \Delta h / l . \quad (32)$$



I – инфильтрация (свободное просачивание); II – инфильтрация сплошным потоком; III – грунтовые воды

Рисунок 3 Схема различных видов движения подземных вод

7.3 Происхождение, классификация и свойства подземных вод

Подземные воды образуются в основном за счет **фильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод** (рек, озер, каналов, водохранилищ и т.п.), а также частично путем конденсации водяных паров из воздуха. Кроме того, источниками питания грунтовых вод может быть перетекание подземных вод из смежных водоносных горизонтов (слоев).

По условиям залегания подземные воды подразделяются на **верховодку, грунтовые и артезианские воды**.

В зависимости от того, в каких породах они размещаются, подземные воды могут быть **пластовыми** (осадочные породы), **трещинными** (скальные породы) и пластово-трещинными, а также **карстовыми**.

По гидравлическому режиму подземные воды бывают **безнапорными** (со свободной поверхностью) и **напорными**.

Поверхностная толща земли по отношению к подземным водам может быть разделена на две зоны (рис.4):

-связанную с атмосферой зону аэрации, через которую просачиваются поверхностные воды, идущие на пополнение запасов грунтовых вод;

-зону насыщения – толщу породы, насыщенную водой и называемую мощностью водоносного слоя.

Зона насыщения располагается на маловодонепроницаемом слое, называемом водоупором. Над зоной полного насыщения размещается область капиллярного насыщения породы, высота которой зависит от механического состава грунта.

В зоне аэрации при наличии водоупорных линз может образоваться верховодка – слой гравитационной воды, не связанной с зоной насыщения.

Подземные воды **верховодки**, расположенные на небольших слабопроницаемых прослойках пород (суглинки или глины), имеют ограниченное распространение, небольшие мощность и глубину залегания (1-2 м). Режим верховодки характеризуется сезонным колебанием уровня, зависящим от количества и распределения по времени осадков и испарения.

По химическому составу воды верховодки характеризуются обычной малой минерализацией, но часто бывают загрязненными. Из-за незначительных запасов, колебаний в течение года и загрязненности воды верховодки используют только в случае крайней необходимости для водоснабжения отдельных хозяйств.

Грунтовые воды характеризуются довольно постоянным во времени и значительным по площади распространения слоем гравитационной воды.

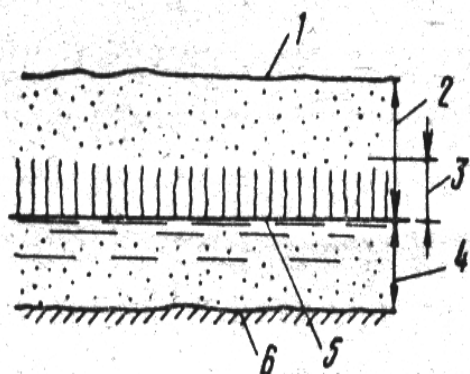
Толща породы, содержащая грунтовые воды, называется **водоносным пластом, или водоносным горизонтом** (см. рис.4), а свободная поверхность этих вод – зеркалом грунтовых вод.

Площадь, через которую происходит инфильтрация атмосферных осадков, вод рек или озер, называется **областью питания подземных вод**.

Грунтовая вода может находиться в движении (грунтовый поток) или быть неподвижной (бассейн грунтовых вод).

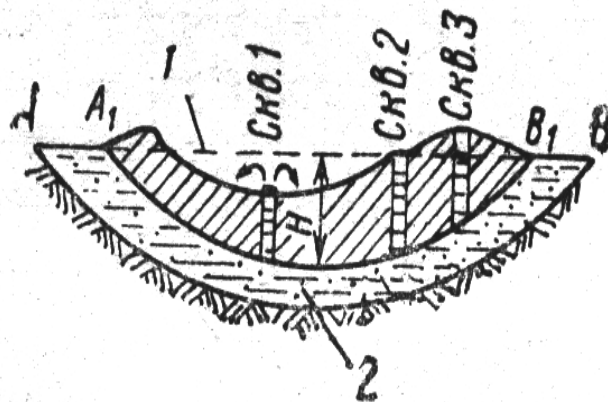
Для образования грунтового потока необходимо, чтобы водоупор имел уклон или чтобы водоносный слой пересекался склоном долины реки, оврага и другим дренирующим естественным понижением.

Область, где водоносный слой выходит на поверхность земли, называется **областью дренирования** или разгрузки грунтовых вод.



1-поверхность земли; 2-зона аэрации;
3-капиллярная кайма; 4-грунтовая вода;
5-уровень грунтовых вод; 6-водоупор

Рисунок 4- Распределение воды в поверхностной части земной коры



1-пьезометрическая линия напора; 2-водоносный горизонт;
H-напор

Рисунок 5- Схема залегания артезианских вод

Характер изменения поверхности грунтовых вод определяют по картам гидроизогипс.

Гидроизогипсы – это линии, соединяющие точки с одинаковой высотой положения грунтовых вод, или горизонтالي зеркала грунтовых вод. Карты гидроизогипс составляют по данным специальных изысканий, которые в случае необходимости можно выполнять в различные периоды (межень, паводок).

Артезианские воды образуются в водоносном пласте, ограниченном сверху и снизу водонепроницаемыми пластами пород, как правило, на большой глубине и являются напорными.

Напоры артезианских вод характеризуют картами линий равных напоров – изопьез.

По условиям залегания водоносные пласты могут быть различными. Наиболее распространенным является синклинальное залегание, при котором водоносный пласт обоими концами AA_1 и BB_1 выходит на поверхность (рис.5). Через эти участки атмосферные и поверхностные воды поступают в водоносный слой и питают его. Область A_1B_1 называется областью распространения напорного водоносного горизонта.

Будучи вскрыты буровыми скважинами, артезианские воды поднимаются выше водоносного пласта, а при достаточном напоре изливаются на поверхность земли. Уровень подъема воды в скважине называется пьезометрическим, а расстояние от кровли водоносного пласта до пьезометрического уровня – напором артезианских вод в месте расположения скважины.

Артезианские воды обычно бывают высокого качества, а поэтому их широко используют. По площади бассейны артезианских вод колеблются от нескольких десятков до сотен тысяч квадратных километров.

7.4 Физические и химические свойства подземных вод.

К основным физическим свойствам подземных вод относятся: температура, цвет, прозрачность и вкус.

Температура подземных вод колеблется в широких пределах (до 100°C , а иногда и более) в зависимости от глубины их залегания, происхождения и климатических особенностей района.

В средних широтах температура неглубоко залегающих подземных вод составляет $5 - 12^{\circ}\text{C}$. По температуре подземные воды подразделяют на

холодные с температурой ниже 20⁰С, теплые – от 20 до 37⁰С и горячие – выше 42⁰С.

Цвет подземных вод зависит от их химического состава и механических примесей, обычно же они бесцветны и прозрачны. Органические и химические примеси могут придавать воде желтоватый, буроватый, голубоватый или сероватый цвет.

По степени прозрачности подземные воды подразделяют на прозрачные, слегка мутные и очень мутные в зависимости от качества и количества примесей в воде.

Вкус воды определяется растворенными в ней минеральными веществами и механическими примесями. Солёный вкус свидетельствует о присутствии в воде хлористого натрия, горький – сульфатов магния, сладковатый – органических веществ, приятный освежающий – гидрокарбонатов кальция и магния, а также свободной углекислоты.

Запах подземные воды обычно не имеют. При наличии сероводорода вода имеет запах тухлых яиц, гнилостный запах говорит о наличии гниющих органических веществ.

В составе подземных вод обнаружено более 60 химических элементов, находящихся, как правило, в виде ионов.

Количество и состав этих веществ определяют такие основные свойства воды, как степень общей минерализации, жесткость и агрессивность по отношению к различным строительным материалам в сооружениях.

Общая минерализация воды характеризуется суммарным содержанием находящихся в ней веществ в миллиграммах или граммах сухого остатка на литр.

В зависимости от величины сухого остатка, получающегося после выпаривания, воды подразделяют на пресные (остаток равен 1 г/л и менее), слабоминерализованные (1-3 г/л), средней минерализации (3-10 г/л), минерализованные (10-50 г/л) и рассолы (свыше 50 г/л).

Жесткость воды определяется содержанием в ней ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , остающихся в воде после кипячения, и выражается в миллиграмм-эквивалентах (мг-экв) на 1 л воды. Жесткость в 1 мг-экв соответствует содержанию в воде 20,04 мг/л Ca^{2+} или 12,16 мг/л Mg^{2+} .

В зависимости от содержания указанных элементов воды делятся на мягкие (до 3 мг-экв), умеренно жесткие (3-6 мг-экв), жесткие (6-9 мг-экв) и очень жесткие (более 9 мг-экв).

Агрессивными по отношению к бетону и известковым камням являются воды, содержащие сульфаты сверх допустимых количеств и агрессивную углекислоту, вступающую в реакцию с известью (CaCO_3) и превращающую последнюю в раствор. Под влиянием сульфатов в бетоне происходит кристаллизация новообразующихся соединений и как результат увеличение его объема и разрушение (крошение).

Под влиянием углекислой агрессии растворяются и выщелачиваются из бетона составные части цемента, главным образом известь. Агрессивными по отношению к железу являются углекислые и сероводородные воды, а также воды с $\text{pH} < 6$, т.е. сильнокислые и кислые. Подземные воды характеризуют также по количеству и составу содержащихся в них газов. В водах с низким содержанием газа его менее 50-100 мг/л, с высоким – более 1000 мг/л. Кроме того, подземные воды могут быть радиоактивными с содержанием родона, радия и других редких элементов.

7.5 Взаимодействие подземных и поверхностных вод

Режим подземных вод, т.е. положение и динамика их уровня, уклон, количество и химический состав, изменяются по времени в зависимости от условий и режима питания и разгрузки.

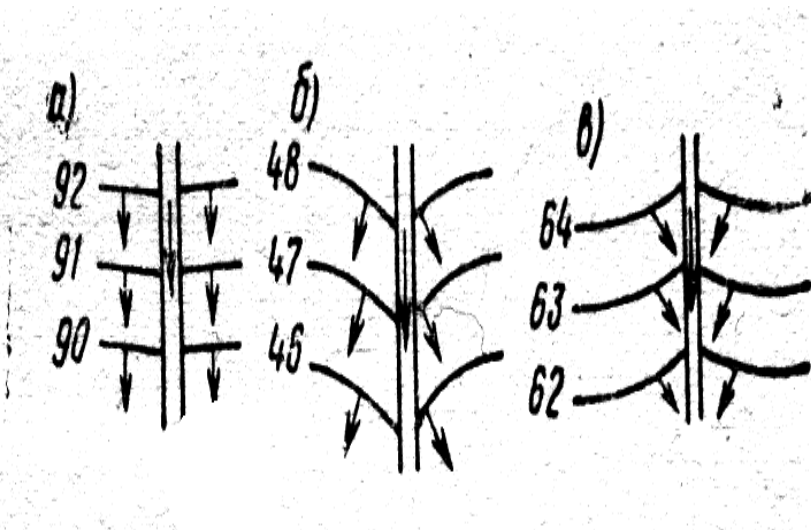
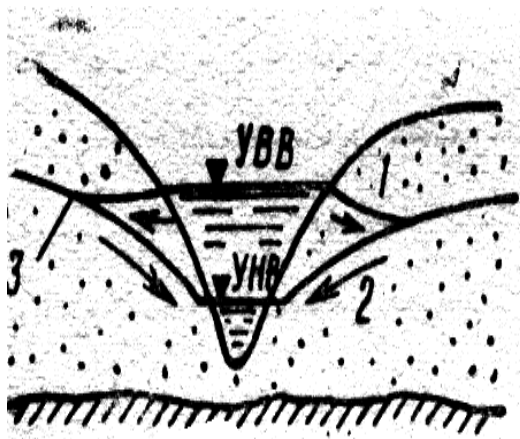
Интенсивность питания грунтовых вод за счет атмосферных осадков зависит от их количества и распределения во времени, рельефа местности, водопроницаемости пород зоны аэрации, испаряемости, глубины залегания водоупора.

Не редки случаи, когда подземные воды подпитываются поверхностными водами из рек, озер и других водоемов. Это происходит в основном во время паводков и обильных дождей, когда уровень воды в них становится выше уровня грунтовых вод в берегах, имеющих кривую депрессии, снижающуюся в сторону русла реки.

Под влиянием разности уровней большое количество воды из реки или водоема, просачиваясь через берега, идет на пополнение подземных вод (рис.6). Сопряжение уровней происходит по кривой подпора. В период низких уровней воды в водоемах происходит обратное явление – грунтовые воды поступают (разгружаются) в водоемы.

При заполнении возводимых на реках или балках водохранилищ повышается уровень грунтовых вод на прилегающей к ним территории. При

этом положение их уровня зависит от степени наполнения водохранилища и режима его работы.



1 – речные воды, питающие
грунтовые; 2 – грунтовые
воды, питающие речные;
3 – кривая депрессии

а – связь отсутствует; б – река питает
грунтовые воды; в – грунтовые воды питают
реку

Рисунок 6- Взаимодействие
речных и грунтовых вод

Рисунок 7- Связь между поверхностными и
и грунтовыми водами (по положению
гидроизогипс)

Взаимосвязь между грунтовыми и поверхностными водами, имеющую большое практическое значение, выявляют по картам гидроизогипс, которые составляют по данным гидрологических исследований.

При отсутствии связи между этими водами гидроизогипсы пересекают реку параллельными линиями без изгибов (рис.7, а).

Если грунтовые воды подпитываются поверхностными, то гидроизогипсы изгибаются вниз по течению реки, так как зеркало грунтовых вод в этом случае понижается в сторону от реки (рис.7, б).

Когда же грунтовые воды питают поверхностный водоток, то гидроизогипсы изгибаются вверх по течению реки, так как зеркало грунтовых вод наклонено в сторону реки (рис.7, в).

Характер связи поверхностных и грунтовых вод может быть различным на отдельных участках одной и той же реки.

