

«Основы гидрогеологии»

Лекция «Гидрогеология. Особенности подземных вод, как объекта исследования»

Гидрогеология – наука, которая изучает подземные воды планеты: закономерности их распространения в земной коре, условия залегания и движения, их свойства и состав, взаимодействие с горными породами, а также условия и возможности их использования.

Основным объектом исследования гидрогеологии являются подземные воды (основной элемент гидросферы), особенности которого определяют содержание и методологию науки.

1. **Подземные воды являются геологическим объектом**, изучение которого методологически неправильно, а в ряде случаев и невозможно проводить в отрыве от исследования горных пород, геологических структур земной коры, их строения и истории развития, в отрыве от геологических процессов, происходящих в земной коре и мантии. Гидрогеологии тесно связана с геологией, геохимией, минералогией и другими науками геологического цикла.

2. **Подземные воды представляют собой водный объект**, являясь частью единой гидросферы Земли. Необходимость изучения и использования процессов водообмена между подземной частью гидросферы и ее поверхностной частью, а также атмосферой планеты определяет тесную связь гидрогеологии с метеорологией, гидрологией суши, океанологией и другими науками этого цикла.

3. Как часть водной оболочки планеты **подземные воды характеризуются важнейшим свойством воды – подвижностью**, которая сохраняется (в жидком и газообразном состояниях) при определенных условиях до значительных глубин геологического разреза. В связи с этим нельзя изучать подземные воды, не изучая количества и формы их движения. В то же время в отличие, например, от поверхностных водных объектов в гидрогеологии практически отсутствуют непосредственные инструментальные методы оценки движения подземных вод в условиях их естественного залегания в земной коре. В связи с этим количественные оценки движения подземных вод (скорости движения, расходы подземных потоков, объемы воды, содержащейся в литосфере) выполняются преимущественно расчетными методами или путем специального моделирования процессов движения подземных вод. Широкое использование расчетных методов и моделирования определяет

тесную связь гидрогеологии с науками математического цикла и некоторыми разделами (механика сплошных сред, гидравлика, термодинамика и др.) физики.

4. *Подземные воды во всех случаях без исключения представляют сложные природные системы*, содержащие в растворенном, коллоидном, свободном состоянии различные минеральные вещества, органические соединения и газы. При этом содержание химических элементов в подземных водах включает практически всю периодическую систему Менделеева плюс сложно построенные комплексы минеральных, органических и органоминеральных соединений. Количественное содержание тех или иных химических элементов в зависимости от их распространения в литосфере, типа подземных вод и других факторов может меняться от ничтожно малых значений (следы присутствия элемента) до сотен граммов в 1 л раствора. Необходимость исследования химической природы объекта, условий и закономерностей ее формирования определяет тесную связь гидрогеологии с химией, физической и коллоидной химией, химией органических соединений, а также с микробиологией и биохимией.

5. Важнейшей особенностью объекта исследования гидрогеологии является чрезвычайное разнообразие видов использования подземных вод. Во-первых, по выражению академика А.П. Карпинского (1931), *«подземные воды – это самое драгоценное полезное ископаемое»*, причем возможности использования этого ископаемого также чрезвычайно широки: использование пресных подземных вод для питьевого, хозяйственного и другого водоснабжения, минеральных (лечебных) вод, минеральных промышленных для получения ряда химических веществ, термальных для получения электроэнергии и теплофикации. Во-вторых, изучение подземных вод представляет одну из важнейших задач при мелиоративных работах, целью которых является создание оптимального водного режима на сельскохозяйственных землях. В-третьих, изучение подземных вод является составной частью геологических исследований при поисках, разведке и эксплуатации определенных типов месторождений полезных ископаемых, в том числе нефтяных и газовых. В-четвертых, изучение подземных вод необходимо для гидрогеологического обоснования различных видов строительства, прежде всего гидротехнического, промышленного, городского и др. В-пятых, гидрогеологические исследования являются важнейшей задачей при решении вопросов охраны природы, собственно подземных вод как природного объекта, охраны ландшафтов, поверхностных вод и др.

Подземные воды как один из видов природных ресурсов и элементов окружающей среды характеризуются двойственной природой. Первое: под-

земные воды являются частью общих водных ресурсов, они находятся в тесной связи с поверхностными водами и атмосферой. Второе: подземные воды являются геологическим объектом.

В зависимости от типа взаимодействия воды с горными породами и агрегатного состояния воды А.В. Лебедев выделяет пять основных видов воды: 1) химически связанная; 2) физически связанная; 3) вода в виде пара; 4) вода в твердом состоянии; 5) свободная вода. В настоящее время выделяют надкритическую в диссипированном состоянии воду, которая залегает на глубинах, превышающих 5-10 км.

Химически связанная вода входит в минерал в виде молекул или в кристаллическую решетку в виде ионов H^+ и OH^- . Она объединяет кристаллизационную, цеолитную и конституционную формы воды. Кристаллизационная вода содержится в виде молекул H_2O , постоянно сохраняя определенное их количество. В мирабилите $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ содержится до 60% такой воды; в гипсе $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ - до 21%. Эта вода может удаляться при температуре около $100^\circ C$. При дегидратации минерал изменяет свои свойства. Например гипс при потере воды переходит в ангидрит. Цеолитная вода является аналогом кристаллизационной, но количество молекул H_2O в минералах может изменяться при сохранении физической однородности вещества. Примером минерала с цеолитной водой является опал $SiO_2 \cdot nH_2O$. Конституционной называют такую химически связанную воду, в которой кислород и водород участвуют в молекулярном строении минералов в виде гидроксильной группы, входят в состав их кристаллической решетки. Например, каолинит $Al_4[Si_4O_{10}][OH]_8$. Конституционная вода может быть выделена только при разрушении кристаллической решетки минерала при температуре более $400^\circ C$.

Физически связанная вода удерживается в виде пленке разной толщины около частиц скелета породы. Она образуется путем адсорбции молекул парообразной воды на поверхности минеральных зерен и на стенках пор и трещинах. Вода в таком виде находится в тонкодисперсных породах типа суглинках и глинах. Она обволакивает мельчайшие частицы породы тонкой молекулярной пленкой и прочно удерживается силами молекулярного и электростатического притяжения. Толщина слоя адсорбированной (прочносвязанной) воды колеблется в пределах долей микрометра и зависит от минералогического состава, размера и формы частиц, состава ионов, влажности породы и температуры. Максимальное количество адсорбированной воды, поглощаемое породой, называется максимальной гигроскопичностью. Для глинистых пород она достигает 15-18 %.

Слабосвязанная, или пленочная, вода образуется на поверхности частиц, уже имеющих адсорбированную воду вторым слоем пленки. Она существует в породе при влагоемкости большей максимальной гигроскопической. С увеличением толщины слоя диффузной воды утрачивается ее связь с минеральными частицами. Вода отрывается от них и переходит в свободное состояние. Для пленочной воды характерна способность перемещения от более

влажных участков слоев к менее влажным. Пленочная вода не подчиняется силе тяжести, не передает гидростатического давления.

Вода в виде пара содержится в воздухе, который заполняет пустоты, поры и трещины горных пород. Она находится в динамическом равновесии с другими видами воды, а также с парами воды в атмосфере и обладает большой подвижностью. Причем перемещение пара происходит от участков с большей влажностью и температурой пара к участкам с меньшими их значениями. Через парообразное состояние в зоне аэрации проходят огромные массы влаги, которые участвуют как в пополнении ресурсов водоносных горизонтов в результате конденсации, так и в расходовании подземных вод вследствие их испарения.

Наряду с холодным паром в условиях современного вулканизма образуется горячий пар, находящийся в смеси с перегретыми водами, имеющими температуру 100-300 °С. Такие парогидротермы наблюдаются на Камчатке.

Вода в твердом состоянии находится в трещинах горных породах и порах в виде отдельных кристаллов или в виде линз и прослоев льда. Лед – самостоятельная мономинеральная порода, образуется в результате внедрения и замерзания подземных вод или захоронения наземных льдов. Свойства пород, содержащих воду в твердом состоянии, весьма отличаются от свойств тех же пород в талом состоянии. Содержание льда в песчаных и глинистых породах может достигать сотен и тысяч процентов по отношению к массе минеральной части породы. Такая форма воды возникает при сезонном промерзании водонасыщенных горных пород и особенно широко развита в регионах с многолетнемерзлыми грунтами.

Свободная вода в зависимости от механизма ее передвижения и нахождения в пустотном пространстве подразделяется на капиллярную, инфильтрационную и гравитационную воду. Капиллярная вода может образовываться в местах соприкосновения минеральных частиц в виде отдельных капель. Эти капли изолированы друг от друга поверхностями, неподвижны. При увеличении влажности породы капиллярные поры полностью заполняются водой и образуются либо собственно капиллярные воды, если они соединяются с уровнем первого от поверхности Земли водоносного горизонта, или подвешенные капиллярные воды, если такой связи нет. Капиллярные воды под действием капиллярных сил поднимаются выше уровня грунтовых вод. Предельная высота капиллярного поднятия для крупнозернистого песка составляет 2-3,5 см; для среднезернистого песка – 12-35 см; для мелкозернистого песка – 35-120 см; для супеси – 120-350 см; для суглинка – 350-650 см; для глины – более 600 см. Капиллярное поднятие достигает максимальной высоты в крупнозернистых грунтах за несколько часов или суток, а в глинистых грунтах может происходить годами или десятилетиями.

Инфильтрационная вода появляется в зоне аэрации во время снеготаяния и после выпадения дождей. Она свободно просачивается отдельными струйками или инфильтруется, когда все сечение пор заполнено водой и действует гидростатический напор.

Гравитационная вода – это вода, находящаяся в физически свободном состоянии под действием силы тяжести. Она обладает свойствами обычной воды, среди которых наиболее важными являются: передача ею гидростатического давления, растворяющая способность, механическое действие на вмещающие породы. Содержание гравитационных вод определяется характером пустот водовмещающих пород. Наибольшее количество этих вод наблюдается в галечниках, крупнозернистых песках, интенсивно трещиноватых породах. Глинистые и слаботрещинчатые породы содержат небольшое количество вод. В глинах, где размер пор мал гравитационной воды практически нет. Гравитационная вода образует грунтовые и напорные воды, которые фильтруются в горных породах под действием градиентов гидро- или геостатического напоров.

Лекция «Классификация подземных вод по происхождению, условиям залегания, составу и типам водосодержащих пород»

Генетическая классификация [Е.В.Пиннекер,1980] подразделяет подземные воды на две группы: группа экзогенных вод – инфильтрационные, седиментогенные; группа эндогенных вод – метаморфогенные, магматогенные воды.

Инфильтрационные подземные воды образуются из инфильтрации и инфилюации атмосферных и поверхностных вод в проницаемые породы. Этот генетический тип вод – основа подземной составляющей гидрологического круговорота воды. При инфильтрации на дне и в береговой зоне морей инфильтрационные воды имеют морской генезис. В результате производственной деятельности человека инфильтрационные воды могут стать и техногенными.

Разновидностью инфильтрационных вод являются конденсационные воды. Они образуются за счет конденсации водяного пара в порах и трещинах горных пород. В районах резко континентального климата конденсационные воды могут иметь существенное значение в общем балансе подземных вод. В результате конденсации в пустынях под песчаными толщами на водоупорных горизонтах возникают линзы пресных подземных вод.

Седиментогенные воды имеют морское происхождение и вследствие этого они представляют собой высоко минерализованные (соленые) подземные воды. Такие воды возникли в результате захоронения насыщенных водой морских осадков и их преобразования в ходе диагенеза. Это сингенетические воды возникшие одновременно с осадочными породами, то есть подземные воды одновозрастные с вмещающими породами. Другой вид седиментогенных вод эпигенетические, они возникают в процессе литогенеза из перекры-

вающих или подстилающих толщ. В процессе литогенеза физически связанные воды отжимаются в коллекторы и переходят в свободное состояние, возраст этих вод не соответствует возрасту вмещающих их осадочных пород. Главная особенность эпигенетических вод – они появились после седиментации.

Метаморфогенные воды образуются при метаморфизме осадочных и магматических пород в условиях больших давлений и температур. Источником метаморфогенных вод являются химически связанные воды, переходящие в свободное состояние при определенных термодинамических условиях. Под воздействием высоких температур и давлений происходят процессы дегидратации. Например, при дегидратации гипса выделяется вода, гипс переходит в ангидрит.

Магматогенные воды генерируются в мантии или магме из водорода и кислорода. По способу проникновения из мантии различают вулканические и сквозьмагматические воды. Вулканические воды образуются в виде надкритической воды или пара из магмы по мере ее подъема и остывания, а затем конденсирующиеся в верхних горизонтах. Сквозьмагматические газожидкие растворы восходят из очагов магмы.

По условиям залегания выделяют три основных типа подземных вод: зоны аэрации; грунтовые; межпластовые.

Зоной аэрации называется верхняя часть земной коры, расположенная выше зоны насыщения. К водам этой зоны относятся почвенные воды, капиллярные воды и верховодка. Почвенные воды заполняют часть промежутков между частицами почвы; они могут быть свободными (гравитационными), перемещающимися под влиянием силы тяжести, или связанными, удерживаемыми молекулярными силами. Верховодкой называются локально распространенные и непостоянно существующие скопления гравитационных вод, формирующиеся на пространственно невыдержанных водонепроницаемых грунтах в зоне аэрации (рис.1).

Грунтовым водоносным горизонтом называют первый от поверхности земли, постоянно существующий регионально распространенный водоносный горизонт со свободным уровнем. Это – безнапорные воды или с местным напором гравитационные воды зоны насыщения, образующиеся в коре выветривания или в рыхлых поверхностных отложениях под воздействием физико-географических факторов (рис.1). В связи с неглубоким залеганием от поверхности уровень грунтовых вод испытывает значительные колебания по сезонам года: повышение после выпадения осадков или таяния снега, понижение в засушливое время. Грунтовые воды в большей мере подвержены загрязнению.

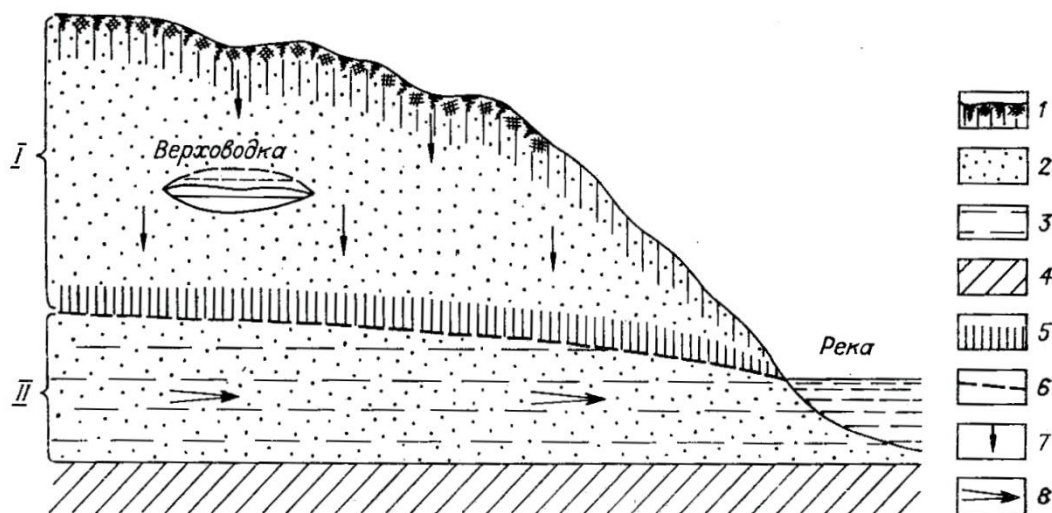


Рис. 1. Схема залегания типов подземных вод в верхней части земной коры [по Е.В.Пиннекеру]:

1 – почвенный слой с капиллярно-подвешенными водами; 2 – песчано-гравийные породы зоны аэрации; 3 – грунтовые воды; 4- водоупорные породы; 5 – капиллярная кайма (капиллярно-поднятые воды); 6 – уровень подземных вод; 7 – направление движения инфильтрующихся вод; 8 - направление фильтрации грунтовых вод.

Межпластовые воды - нижележащие водоносные горизонты, заключенные между двумя водоупорными слоями (рис.2). В геологических структурах, сложенных слоистыми осадочными отложениями, межпластовые воды распространены на глубинах от 10 м до 7 км. В верхней части геологического разреза, выше уреза поверхностных вод, проницаемый пласт, залегающей между двумя водоупорами, может быть насыщен водой не на всю мощность.

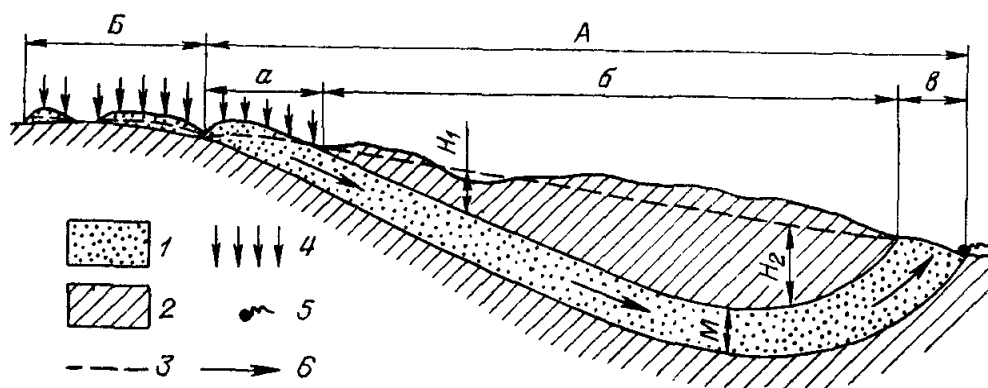


Схема артезианского бассейна, по А. М. Овчинникову (нифильтрационная система).

A – пределы распространения артезианских вод; a – область питания, б – область напора, в – область разгрузки; Б – пределы распространения грунтовых вод; H_1 – H_2 – напорный уровень: H_1 – выше поверхности Земли, H_2 – ниже поверхности Земли; М – мощность артезианского горизонта.
1 – водоносный пласт; 2 – водоупорные породы; 3 – уровень воды; 4 – питание подземных вод; 5 – источник; 6 – направление движения подземных вод.

Рис. 2. Артезианский бассейн

Такие водоносные горизонты называются межпластовыми безнапорными (со свободной поверхностью). Напорные (артезианские) воды полностью запол-

няют водоносный горизонт и находятся под давлением. При вскрытии такого горизонта скважиной вода под действием избыточного давления поднимается выше кровли водоносного горизонта и устанавливается на определенном уровне. Расстояние от кровли водоносного горизонта до установившегося уровня называется пьезометрической высотой. Напором обладают все воды, заключенные в слоях, залегающих в вогнутых тектонических структурах.

Классификация подземных вод по составу представлена в табл.1.

Таблица 1.

***Классификация подземных вод в зависимости от степени их минерализации
(по В.А. Приклонскому)***

Вид вод	Содержание сухого остатка, г/л	Плотность, г/см ³	Преобладающий тип вод
Пресные	1	1-1,0005	Гидрокарбонатно-кальциевый
Слабоминерализованные (слабосоленоватые)	1-3	1,0005-1,0015	Сульфатный, реже хлоридный
Среднеминерализованные (солончатые и сильно-солончатые)	3-10	1,0015-1,0055	Сульфатный и хлоридный
Минерализованные (соленые)	10-50	1,0055-1,0283	Сульфатный и хлоридный
Рассолы	>50	1,0283	Хлоридно-натриевые

В зависимости от характера пустот водовмещающих пород подземные воды делятся на: поровые — в песках, галечниках и других обломочных породах; трещинные (жильные) — в скальных породах (гранитах, песчаниках); карстовые (трещинно-карстовые) — в растворимых породах (известняках, доломитах, гипсах и др.).

Классификация подземных вод в зависимости от типа водосодержащих пород выделяет: пластовые воды и трещинно-жильные. Первый тип образуется в осадочных породах, второй тип - в магматических и метаморфических. Согласно этому подразделению, предложенному И.К.Зайцевым и Н.И.Толстихиным, пластовые воды делят на порово-пластовые, заполняющие поры породы в пределах водоносного пласта; трещинно-пластовые, находящиеся в пластах твердых пород с относительно равномерной и частой трещиноватостью; карстово-пластовые, заполняющие пустоты в пластах карстующихся пород. Среди трещинно-жильных вод различают: грунтово-трещинные, приуроченные к трещинам выветривания; жильные, заполняющие крупные трещины тектонического происхождения; трещинно-карстовые, заполняющие связанную систему трещин различного происхождения и карстовых полостей.

Лабораторная работа № 1
«Классификация подземных вод»

Цель работы: научиться выделять гидрогеологические элементы, давать классификацию подземных вод по условиям залегания и типу водопроницаемости.

Порядок выполнения работы:

1. Построить схематический разрез, расстояния между скважинами 100 м.
2. Показать на разрезе зоны аэрации и насыщения.
3. Дать характеристику строение и мощности зоны аэрации.
4. Определить какие типы водоносных горизонтов встречены при бурении.
5. Охарактеризовать условия залегания, литологический состав и мощность водосодержащих пород, положение и характер залегания водоупорных слоев.

Описание разрезов по скважинам

Номер слоя	Краткое описание породы	Мощность слоя, м				
		В-10,В-9	В-1,В-8	В-2,В-7	В-3,В-6	В-4,В-5
Скважина 1, абс. отм. 80						
1	Почвенно-растительный слой	0.20	0.15	0.20	0.25	0.25
2	Песок мелкий со щебенкой	1.15	1.65	1.25	1.70	1.60
3	Песчаник трещиноватый	9.90	9.80	9.70	9.85	9.75
4	Глина плотная	1.95	1.90	2.05	2.10	1.95
5	Песок крупный	2.05	2.10	1.95	1.80	1.90
6	Глина пластичная, вскрытая мощность	0.30	0.20	0.40	0.50	0.35
Скважина 2, абс. отм. 75						
1	Почвенно-растительный слой	0.15	0.15	0.20	0.40	0.25
2	Песок мелкий со щебенкой	1.15	1.65	1.25	1.70	1.60
3	Песчаник трещиноватый	5.90	6.10	6.70	6.25	5.90
4	Глина плотная	1.75	1.70	1.90	2.00	1.80
5	Песок крупный	2.05	2.10	1.95	1.80	1.90
6	Глина пластичная, вскрытая мощность	0.50	0.20	0.30	0.50	0.35

Уровни воды в скважинах

Номер вы- работки	Глубина залегания	
	Уровня грунто- вых вод	Пьезометрическо- го уровня
Варианты 10 и 9		
Скв.1	6.00	13.10
Скв.2	3.20	5.15
Варианты 1 и 8		
Скв.1	6.40	13.20
Скв.2	3.10	5.10
Варианты 2 и 7		
Скв.1	6.30	13.20
Скв.2	3.10	5.10
Варианты 3 и 6		
Скв.1	6.50	13.15
Скв.2	3.30	5.15
Варианты 4 и 5		
Скв.1	6.20	13.15
Скв.2	3.00	5.20

Контрольные вопросы: Назовите классификации подземных вод по условиям залегания. Что называется грунтовыми водами? Назовите их особенности. Характер перемещения воды в верхней части земной коры. Классификация подземных вод по типу водовмещающих пород. Межпластовые воды (определение). Нарисуйте схему залегания межпластовых безнапорных вод.

Отчёт по лабораторной работе оформлять в соответствии с требованиями: МИ 01-02-2018 Общие требования к построению и оформлению учебной текстовой документации.

Отчёт по лабораторной работе и конспект лекций отправить на проверку: lyudmila-vasyuti@mail.ru

Доцент кафедры ПГ и ТГР, канд. геол.-мин. наук
Васютин Людмила Александровна