

Лекция

«Гидрогеохимическая зональность»

Гидрогеохимическая зональность проявляется в закономерном изменении состава и минерализации подземных вод по площади и глубине. Зная эти закономерности, можно ответить на вопрос – где и какие воды можно найти, обосновать поиски подземных вод различного состава, прогнозировать изменение минерализации подземных вод в геологических структурах.

Известно три проявления гидрогеохимической зональности: горизонтальная (или широтная, географическая), вертикальная (или геологическая, глубинная), высотная (горная).

Гидрохимической зоной называется часть гидрогеологического разреза относительно однородная по химическому составу вод, т.е. содержащие воды определенной минерализации и состава, гидрохимические показатели которых изменяется в сравнительно узких, условно устанавливаемых границах. Гидрогеохимический разрез образуют различные сочетания гидрогеохимических зон по вертикали. Гидрохимический разрез может быть одно-, двух-, трехфазным и более. Если обозначить зону пресных вод буквой А, соленых – Б, а рассолов – В, то последовательность АБВ называется нормальным гидрохимическим разрезом, но бывают и другие варианты.

Горизонтальная или климатическая зональность химического состава проявляется у вод первого от поверхности водоносного горизонта, т.е. грунтовых вод. Эти воды не имеют верхнего водоупора и не изолированы от влияния поверхностных факторов, поэтому их состав сильно зависит от физико-географических факторов и, прежде всего, от климата и рельефа. Под горизонтальной зональностью понимаются закономерности пространственного (площадного) изменения условий формирования и типа грунтовых вод, определяемые воздействием природных факторов, связанных с проявлением широтной климатической зональности.

В пределах европейской части России с севера на юг происходит постепенное увеличение глубины залегания грунтовых вод, уменьшаются среднегодовые величины инфильтрационного питания. В общем случае, с увеличением температуры (т.е. величины испарения) и уменьшением количества атмосферных осадков, увеличивается минерализация подземных вод и в соответствие с этим меняется и их химический состав: гидрокарбонатные воды сменяются сульфатными и хлоридными. Одновременно увеличивается их глубина залегания. Таким образом, горизонтальная зональность прослеживается от северных к южным областям, в пределах равнинных территорий.

В.С. Ильиным были выделены субширотные зоны: грунтовых вод тундры; «высоких» грунтовых вод севера; грунтовых вод неглубоких оврагов; глубоких оврагов; овражнобалочной сети; балок причерноморского типа; балок прикаспийского типа. Кроме семи закономерно располагающихся зон, В.С. Ильин выделял аazonальные типы грунтовых вод, к которым были отнесены: трещинные воды кристаллических массивов и горно-складчатых областей, насыщенные метаморфогенной углекислотой, гидрокарбонатно-кальциевые карстовые воды, воды болот, формирующиеся в восстановительных условиях, и воды солончаков, представляющие крайнее выражение испарительного концентрирования. Одним из важнейших зональных показателей является глубина залегания грунтовых вод, определяемая интенсивностью увлажнения (величины питания грунтовых вод), степенью и глубиной эрозионной расчлененности разреза, а также строением верхней части гидрогеологического разреза.

В настоящее время, на основании работ О.К. Ланге, Г.Н. Каменского и Е.В. Пиннекера принято выделять три провинции зональных грунтовых вод.

1) Провинция вечной мерзлоты с отрицательными среднегодовыми температурами. В этой зоне воды большую часть времени проморожены и в жидкой фазе существуют только летом.

2) Провинция гумидного климата с высокой влажностью воздуха, положительными среднегодовыми температурами и небольшой амплитудой суточных и сезонных колебаний температур. Эта зона характеризуется избыточным увлажнением и интенсивным вымыванием солей из пород.

3) Провинция с аридным климатом с высокой сухостью воздуха и большими амплитудами суточных и сезонных колебаний температур. В этой зоне испарение преобладает над осадками.

Гидрохимическая вертикальная зональность подземных вод проявляется по разрезу земной коры и выражается в закономерном изменении гидродинамических и гидрохимических параметров.

Закономерное изменение химического состава подземных вод при их перемещении из зоны свободного водообмена в зону затрудненного водообмена и далее – в зону застоя, называется метаморфизмом подземных вод. Общая закономерность изменения химического состава пластовых вод заключается в быстром росте минерализации воды с глубиной – от пресных к соленым, а затем – к рассолам. Одновременно гидрокарбонатные воды сменяются сульфатными, сульфатные – хлоридными. Таким образом, в общих чертах эта схема соответствует изменению общей минерализации и состава преобладающих ионов при фильтрации изначально маломинерализованных вод в толщу горных пород, когда при концентрировании растворов (в данном случае, связанное с уменьшением количества растворителя) происходит изменение их состава.

Классические представления о природе формирования гидрогеохимической зональности гидрогеологического разреза артезианских бассейнов всегда исходили из предпосылки тесной связи гидрохимических и гидроди-

намических показателей, при определяющей роли последних, т.е. гидрохимическая зональность определяется преимущественно гидродинамическими параметрами: при замедлении скорости движения вод их минерализация возрастает. По определению М.Е. Альтовского, минерализация воды по вертикали обратно пропорциональна скорости движения воды в водоносных слоях. Наиболее полно это сформулировал Н.К. Игнатович (1950 г.), который считал, что трем гидродинамическим зонам разреза бассейна (активного, затрудненного и весьма затрудненного водообмена) соответствуют три гидрохимические зоны: гидрокарбонатных, сульфатных и хлоридных подземных вод. Однако вслед за этим было показано, что даже в условиях одного бассейна гидрогеохимические показатели гидродинамических зон могут изменяться в широких пределах. При сравнении гидрогеохимических разрезов различных артезианских бассейнов эти различия проявляются еще более резко как по величине минерализации, так и по соотношению основных компонентов состава. Общие закономерности изменения минерализации и состава подземных вод по вертикали, которые сводятся к выделению в гидрогеологическом разрезе трех гидрохимических зон (И.К. Зайцев, 1986). Зона А – пресные воды, $\text{HCO}_3\text{-Ca (Mg)}$ состава. В гидродинамическом отношении эта зона соответствует зоне активного водообмена. Нижняя граница зоны активного водообмена примерно соответствует местному базису эрозии (уровню вреза современной гидрографической сети) и имеет мощность, в зависимости от геологической обстановки, например, от 50 м (Восточно-Европейская платформа) до 300-500 м (Восточно-Сибирская платформа). Распространены пресные воды, преимущественно $\text{HCO}_3\text{-Ca-(Mg)}$ состава, но могут встречаться $\text{HCO}_3\text{-Na}$ воды в зоне развития угленосных толщ (Восточная Сибирь). Встречаются гидрохимические аномалии, в местах проникновения соленых вод через гидрогеологические «окна» (древние долины) и по тектоническим нарушениям.

Воды верхней зоны имеют в основном инфильтрационное происхождение, а химический состав формируется за счет взаимодействия с породами (растворение), поэтому характерна тесная связь с литологией вмещающих пород. Так, выщелачивание обогащенных полевыми шпатами кристаллических и песчаных пород обычно дает щелочные гидрокарбонатные воды, с преобладанием в составе катионов Na. Выщелачивание глинистых и карбонатных толщ приводит к образованию $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ вод, но обогащенных – ионами сульфата, в связи с примесью гипса (в карбонатах) или окислением пирита (в глинах). В породах, богатых органикой, формируются $\text{HCO}_3\text{-Na}$ воды. Растворенные газы в основном воздушного (атмосферного) происхождения: N_2 , CO_2 , O_2 , Ar, с примесью биогенного CO_2 , образовавшегося уже непосредственно в водоносных породах. Зона имеет непосредственную связь с атмосферой и поверхностными водами, поэтому характерны элементы климатической зональности. Обстановка окислительная, т.к. в растворенных газах присутствует O_2 . Значения pH около 7-8. Величины Eh положительны: +200+300 мВ, до +400, +500 мВ.

Нижняя граница зоны проводится по кровле первого регионального водоупора, не вскрытого современной эрозией. Зона Б – соленых вод с минерализацией от 1 до 35 г/дм³, SO₄-НСО₃-Na(Ca) состава. В гидродинамическом отношении примерно соответствует зоне затрудненного водообмена и погружена до периферийных морей. В зависимости от района, мощность зоны изменяется, например, от 1-2 км (Восточно-Европейская платформа) до 4 км (Восточно-Сибирская платформа). Характеризуется развитием соленых вод сложного состава. При наличии в разрезе гипсоносных или пиритизированных пород преобладают SO₄-Ca воды, такие же воды с минерализацией 3-10 г/дм³ развиты в карбонатных породах с пропластками гипса. В галогенно-карбонатных породах формируются хлоридно-натриевые воды с минерализацией 10-35 г/дм³. Воды средней зоны имеют инфильтрационное и седиментационное происхождение. По химическому составу инфильтрационные воды могут быть сульфатными, гидрокарбонатно-натриевыми или хлоридно-магниевыми, в зависимости от состава вмещающих пород. Отжимаемые седиментогенные воды по химическому составу приблизительно соответствуют составу морских вод бассейна седиментации.

Начинает сказываться наличие «возрожденных» вод глинистых пород, которые теоретически вообще не минерализованы, т.к. образуются в результате перехода связанных вод, лишенных растворенных солей, в свободное состояние. Так, в Прибалтийском и Среднерусском бассейнах под сульфатными водами залегают менее минерализованные, а иногда и пресные воды. В этой зоне важную роль играют процессы восстановления сульфатов, поэтому количество сульфатных вод сокращается к низам зоны. Процессы катионного обмена преобладают над выщелачиванием, что объясняется медленной скоростью движения подземных вод. Встречаются хлоридные, гидрокарбонатные и сульфатные воды (поэтому эту зону еще называют зоной «пестрых» вод), из катионов обычно преобладает Na. В составе растворенных газов присутствуют N₂, CH₄, CO₂, H₂S. Кислород обычно отсутствует. Наличие сероводорода отражает протекающие процессы сульфаторедукции. Метан и его гомологи появляются в результате термодеструкции ОВ. Обстановка восстановительная. Величины рН около 7,5-8,5. Значения Eh низкие положительные (+100, +200 В). Состав вод исключительно хлоридный, из катионов преобладает Na, иногда Ca. Растворение пород не происходит, вследствие практически полной неподвижности вод. Возможны только процессы диффузии и катионного обмена. В составе газов преобладают N₂, CH₄ и CO₂, но также появляются глубинные H₂ и He. Содержание H₂S резко снижается, иногда до нуля. Для этой зоны характерно однообразие вод и практически полная независимость их состава от литологии вмещающих пород, т.е. рассолы могут встречаться в таких «чуждых» для соленых вод породах, как грубообломочные мелководные отложения, кристаллические породы. Обстановка резко восстановительная.

Высотная (горная) зональность. В горных областях по мере снижения высоты уменьшается расчлененность рельефа и увлажненность террито-

рии, поэтому изменения химического состава грунтовых вод связаны именно с высотными отметками и характеризуются увеличением минерализации и соответствующим изменением ионного состава вод при переходе от высокогорных районов к низкогорным. В условиях высокогорного рельефа (абс. отм. >4000 м) грунтовые воды приурочены к самым разнообразным по литологии породам (магматическим, метаморфическим, осадочным), но общим является промытость от легко растворимых солей. Поэтому главным процессом при формировании химического состава вод является разрушение карбонатов и силикатов. Интенсивность этого процесса сильно зависит от содержания CO_2 в грунтовых водах. Однако почти полное отсутствие микроорганизмов в воздушных и водной средах высокогорных районов приводит к дефициту углекислоты в почвенном воздухе. Это тормозит растворение пород, в результате грунтовые воды имеют очень низкую минерализацию.

В условиях среднегорного рельефа (абс. отм. от 2000 до 4000 м) грунтовые воды приурочены к разнообразному по составу породам, также промытым от легко растворимых солей. Однако здесь грунтовые воды относительно обогащены биогенной углекислотой, т.к. климатические условия (более высокие среднегодовые температуры) не препятствуют развитию микроорганизмов. Карбонатное равновесие устанавливается при сравнительно высоких содержаниях гидрокарбонатов кальция и магния. Воды приобретают более высокую минерализацию (до 1 г/дм^3). Увеличивается роль сульфат-иона, который часто присутствует в равных (или даже преобладающих) количествах с гидрокарбонатами. Видимо, основным источником сульфатов являются рассеянные в породах сульфиды, которые подвергаются биохимическому окислению, интенсивности которого способствует высокое содержание кислорода в грунтовых водах. Таким образом, состав вод является $\text{HCO}_3(\text{SO}_4)\text{-Ca(Na)}$.

Низкогорный рельеф (абс. отм. менее 2000 м) часто характеризуется полупустынным климатом. Здесь вмещающие породы хуже промыты от воднорастворимых солей, что объясняется недостаточностью питания. Формируются воды относительно повышенной минерализации до $1\text{-}3 \text{ г/дм}^3$, по составу $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca(Na)}$, или $\text{SO}_4\text{-Ca(Na)}$. На отдельных участках процессы испарительного концентрирования могут увеличить минерализацию грунтовых вод до 5 г/дм^3 .