

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ

А.А. Карцев<sup>1</sup>, С.Б. Вагин<sup>1</sup>, Л.А. Абукова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва,

<sup>2</sup>Институт проблем нефти и газа РАН, Москва

Нефтегазовая гидрогеология представляет собой один из важнейших разделов гидрогеологии. Теоретическими основами ее являются учения о гидрогеологических условиях генерации, миграции, аккумуляции, консервации и деструкции углеводородов. А поскольку названные условия теснейшим образом связаны с условиями формирования и движения водных растворов в нефтегазоносных толщах, то вполне логично в сферу нефтегазовой гидрогеологии включаются и эти теоретические вопросы.

Следовательно, нефтегазовую гидрогеологию можно рассматривать как гидрогеологию глубоких частей осадочной оболочки Земли, где находится основная часть статических запасов вод литосферы. Отсюда вытекает и определяющее значение нефтегазовой гидрогеологии для гидрогеологии вообще и огромное значение для наук о Земле в целом.

Вышеозначенные процессы, в которых участвуют углеводороды и водные растворы, протекают в осадочных толщах. Водные растворы, взаимодействуя с твердым веществом пород (а также с газами и органическими компонентами), играют важную роль в их формировании и преобразовании, одновременно являясь продуктами литогенетических процессов. Отсюда вытекает целесообразность особого научного направления – литогидрогеологии (а внутри него, как особо важной части – литогидрогеохимии). Литогидрогеология теснейшим образом связана с нефтегазовой гидрогеологией.

Важнейшей задачей литогидрогеологии, и литогидрогеологии нефтегазоносных бассейнов в частности, является изучение связей между процессами литогенеза, стадийностью и зональностью литогенеза и гидрогеологическими условиями. В качестве стадий литогенеза, последовательно сменяющих друг друга, выделяются: седиментогенез, диагенез, катагенез, подразделяющийся на протокатагенез, мезокатагенез и апокатагенез, затем – метагенез, за которым следует метаморфизм и, наконец, вызываемый геотектонической инверсией гипергенез. С каждой стадией и подстадией литогенеза связаны определенные литогидрогеологические и – соответственно – определенные нефтегазогеологические процессы, определенные генетические типы водных растворов.

Так, на стадии седиментогенеза главную роль играют гидросферные водные растворы (морей, озер и т.п.), преимущественно талассогенные, седиментогенные.

При диагенезе в морских осадках находятся свободные и связанные талассогенные водные растворы.

Характерные для диагенеза гидрогеологические процессы – эксфильтрация водных растворов, элизионный водообмен, выжимание в основном свободных еще талассогенных водных растворов из сильно уплотняющихся илов в песчаные и другие относительно слабо уплотненные слои.

При протокатагенезе в морских отложениях находятся талассогенные водные растворы и преимущественно свободные в коллекторах и связанные в глинах. Для этой подстадии катагенеза эксфильтрация элизионного характера остается главным гидрогеологическим процессом, но в нем участвуют уже в основном связанные водные растворы, находящиеся в глинах.

При мезокатагенезе в глинистых породах преобладают связанные талассогенные водные растворы, а в коллекторах – генетически связанные с ними растворы, но ещё с преобладанием свободных форм.

Основным типом водообмена здесь остается эксфильтрационный, причем главную движущую роль играет термическая дегидратация глинистых минералов и эксфильтрация водных растворов, формирующихся за счет возрожденных (дегидратационных) вод. В результате примешивания их к талассогенным водным растворам при мезокатагенезе наблюдается появление больших масс относительно слабоминерализованных водных растворов, которые можно обозначить как литогенные (катагенные).

При мезокатагенезе наблюдается обогащение водных растворов углеводородами. К данному этапу приурочена главная фаза нефтеобразования, чем обусловлено совершенно особое значение мезокатагенеза для нефтегазовой гидрогеологии (и геологии!). Вот важнейший пример тесной связи литогидрогеологии и нефтегазовой гидрогеологии! Конец мезокатагенеза – главная фаза газообразования.

Апокатагенез охватывает чрезвычайно большой диапазон условий. Продолжается дегидратация глинистых минералов, появляются новые порции литогенных водных растворов. Количество растворенного метана становится очень большим (до десятков м<sup>3</sup> на м<sup>3</sup> воды).

За апокатагенезом следует метагенез. Продолжается выделение дегидратационных вод, уже метаморфогенных. В газовом составе водных растворов характерно преобладание CO<sub>2</sub>.

При гипергенезе перемещение водных растворов идет от зон инфильтрационного питания вглубь литосферы. Гипергенные изменения различны для растворов разного генезиса. Для растворов, сохранившихся от предшествующих стадий литогенеза, характерны разбавление и окисление (в том числе углеводов), а для «свежих» атмосферных вод, наоборот, концентрирование и восстановление.

Специфические гидрогеологические процессы происходят в НГБ под влиянием магматизма, проявляющегося, например, в виде траппов. Они представлены, с одной стороны, инфильтрацией в осадочные породы растворов из магм и их дериватов, а с другой, ассимиляцией водных растворов магматическими расплавами.

У водных растворов, появляющихся из магм, растворитель в основном ассимилирован прежде из осадочных (и метаморфических) пород!

Из сказанного выше вытекает, что генезис, формирование и изменения водных растворов в литосфере (и в НГБ, в частности) теснейшим образом связаны с литогенетическими процессами. Поэтому и гидрогеологическая зональность тесно связана с литологической и литогидрогеологической зональностью. Основой выделения литогидрогеологических зон должны служить стадии и подстадии литогенеза. С такими зонами ассимилируются соответствующие гидрогеологические процессы, а потому эти зоны (и подзоны) необходимо рассматривать как литогидрогеологические зоны. Они характеризуются определенными литогидрогеохимическими и гидрогеодинамическими чертами. Для формирования и размещения литогидрогеологических зон имеют значение историко-геологическое развитие, наличие или отсутствие современного или недавнего преимущественно субаквального осадконакопления. Следует выделять два типа литогидрогеологической зональности: один – для суши, другой – для акваторий. Характеристика выделенных таким образом литогидрогеологических зон и подзон, представлена в таблице.

В бассейнах, содержащих отложения аридного генезиса, пласты солей, важное влияние на гидрогеохимическую зональность оказывает положение этих пород в разрезе. При нахождении соленосных отложений в верхней части разреза почти весь разрез носит отпечаток аридного седиментогенеза. Если же соленосные пласты располагаются внизу, их влияние минимально и основная часть разреза имеет гумидный облик. Некоторые своеобразные черты гидрогеологической зональности проявляются при «ледовом» типе литогенеза: там имеются криолитозона и зона газогидратообразования. Эти особенности сказыв-

ваются в первую очередь на стадиях диагенеза (в условиях моря) и гипергенеза (в условиях суши).

Таблица

**Характеристика литогидрогеологических зон**

Зона, подзона	Водные растворы по преобладающему генезису	Ведущие гидрогеологические процессы	Гидрогеохимия, воды	
			Гумидные комплексы	Аридные комплексы
Диагенеза	Талассогенные	Элизионные	Соленые и солоноватые	Соленые воды и рассолы
Протокатагенеза	Талассогенные	Элизионные	Соленые и солоноватые	Соленые воды и рассолы
Мезокатагенеза	Литогенные и хемогенные	Эксфильтрационные, в т.ч. термодегидратационные	Соленые и солоноватые	Соленые воды и рассолы
Апокатагенеза	Литогенные и хемогенные	Эксфильтрационные, термодегидратационные	Солоноватые и соленые воды	Соленые воды
Гипергенеза	Атмогенные	Инфильтрационные	Пресные и солоноватые воды	Соленые воды и рассолы

Если исключить зону гипергенеза, то общей тенденцией изменения минерализации водных растворов сверху вниз (от диагенеза до апокатагенеза) является ее снижение (см. табл.), особенно в гумидных комплексах. Это – никакая не «инверсия». Рост минерализации вниз, который обычно до сих пор считают выражением «нормальной» гидрогеохимической зональности, характерен на самом деле лишь для зоны гипергенеза. Существование в истории бассейнов древних эпох развития гипергенеза может усложнить и деформировать гидрогеологическую зональность.

Для нефтегазовой гидрогеологии важнейшее значение имеет газовый состав литосферных водных растворов. Водорастворенные газы в НГБ, в первую очередь метан и его гомологи, образуют «питательную среду» для газовых залежей и в значительной мере для богатых газом нефтяных залежей. Но они в определенной мере и пополняются за счет за-

лежей. Изучение водорастворенных газов нефтегазоносных толщ дает много материала для понимания процессов аккумуляции и деструкции УВ и для решения ряда практических вопросов в области поисков, разведки и разработки залежей.

Среди газов в водах НГБ преобладают обычно метан, иногда – углекислый газ либо азот, очень редко – сероводород. Среди аксессуарных газовых компонентов следует отметить гомологи метана, аргон и гелий. Если посмотреть на распределение преобладания отдельных названных газов по литогидрогеологическим зонам, то увидим преобладание метана, как правило, в зонах и подзонах диагенеза, прото- и мезокатагенеза, с прогрессирующим в этом направлении ростом общей газонасыщенности вод, тогда как в низах подзоны мезокатагенеза и в подзоне апокатагенеза нередко преобладание диоксида углерода и (или) азота. В зоне гипергенеза при относительно невысокой общей газонасыщенности могут преобладать (вместе или по отдельности) все три названных выше главных газа.

Переходя к вопросам гидро(флюидо)динамики нефтегазоносных бассейнов, следует в первую очередь обратить внимание на геогидро(флюидо)<sup>1</sup>динамические системы (ГГДС). По нашей классификации выделяются ГГДС: безнапорные, напорные-инфильтрационные, элизионные литостатические, элизионные геодинамические, эксфильтрационные термодегидратационные и, наконец, депрессивные или телионные.

Связи между ГГДС и гидрогеологической зональностью представляются в следующем виде. В зонах (и подзонах) диагенеза, протокатагенеза и частично мезокатагенеза находятся элизионные литостатические ГГДС, также в подзоне мезокатагенеза, особенно в нижней ее части, и в подзоне апокатагенеза – эксфильтрационные термогидратационные ГГДС, в зоне гипергенеза – инфильтрационные водонапорные и безнапорные ГГДС. Геодинамические ГГДС азональны. Наконец, депрессивные (телионные) ГГДС, по-видимому, встречаются при переходе от катагенеза к гипергенезу (осадочный диафторез).

Разные типы ГГДС характеризуются различными особенностями движения жидкостей. Так, для инфильтрационных ГГДС типично фильтрационное перемещение (иногда – десцедентное). В эксфильтрационных ГГДС существенное значение имеют диффузионные, концентрационно-конвекционные формы движения, а в короткие периоды и на отдельных направлениях (преимущественно субвертикальных) – перемещения типа флюационных прорывов и перетоков.

---

<sup>1</sup> Термин «флюид» широко применяется в науках о Земле, но в физике не используется.

В геодинамических ГГДС (относительно ограниченных в пространстве и во времени) последние формы, по-видимому, типичны.

Проблемы выявления гидрогеологических условий миграции, аккумуляции, консервации и деструкции нефти и газа, как было сказано в начале статьи, являются центральными в нефтегазовой гидрогеологии. Процессы генерации, миграции, аккумуляции, рассеяния и распада УВ от начала и до конца происходят в среде, одним из важнейших компонентов которой являются водные растворы. Роль последних как фактора, созидającego и разрушающего скопления нефти и газов, очень велика и иногда может считаться решающей.

Следует выделять активную и пассивную роль гидрогеологических условий, водных растворов в вышеперечисленных процессах. Пассивная (но только отчасти пассивная!) роль заключается в том, что водные растворы являются частью среды, где идут эти процессы. Активная роль представляется как транспортирующая (иногда удерживающая) функция при формировании и разрушении залежей нефти и газов.

Существуют различные представления о механизмах миграции и аккумуляции УВ в водонасыщенных толщах пород.

Так, в качестве состояния вещества называются: истинные растворы, коллоидные растворы, растворы во временно модифицированных и кристаллогидратных водах, эмульсии, микроэмульсии, свободные фазы вместе с водой.

Заметим, что роль перечисленных форм, по-видимому, меняется на разных этапах миграции: от первичной миграции (эмиграции, эвакуации) к миграциям по коллекторам. Снижается роль таких видов, как растворы во временно модифицированной воде, и возрастает роль свободных фаз. При этом следует подчеркнуть, что при миграции УВ в составе двух- и трехфазных потоков главной активной фазой служит водная фаза: именно она, резко преобладая по массе, определяет характеристику гидро(флюидо)динамического поля. В общем все это служит подтверждением образного выражения французского гидрогеолога Брюдерера о воде-гиганте, несущем на плечах карлика – нефть.

Собственно аккумуляция УВ, т.е. отделение их в виде скоплений от водных растворов, происходит под действием ряда факторов: гравитационного (всплывания) – при двух-трехфазной миграции, в ловушках или «на подступах» к ним, литологического, геотермического, сейсмотектонического и, возможно, некоторых других.

В целом этот вопрос подлежит дальнейшему изучению.

Разрушение, как и консервация нефтяных и газовых залежей, происходит в водной среде, и сами литосферные воды вместе с некоторыми из растворенных в них веществами являются основными факторами деструкции. Воды разрушают углеводородные скопления механическими, физико-химическими, химическими и биохимическими путями.

При механическом разрушении (вымывании) залежей нефти и газов на промежуточной стадии могут существовать гидравлически экранированные залежи. При физико-химическом разрушении («растворении»), соответственно, возникают ореолы рассеяния (содержимого) залежи. Названные явления представляют важные объекты изучения и учета в нефтегазопроисковой гидрогеологии.

Явления генерации, аккумуляции и деструкции нефти и газов развиваются на фоне (и во временах) литогенеза, литогидрогеологической стадийности и зональности в ГГДС определённых типов.

Гидрогеологические условия генерации и аккумуляции нефти и газов, консервации, трансформации и деструкции этих веществ специфичны для каждого этапа и каждой зоны литогенеза.

В зоне диагенеза и в подзоне протокатагенеза в рамках литостатических ГГДС, в среде седиментогенных, преимущественно талассогенных водных растворов идут процессы, подготовляющие генерацию и эмиграцию нефти и газа.

К подзоне мезокатагенеза приурочены (в рамках литостатических, а затем и термодегидратационных эксфильтрационных, а иногда и геодинамических ГГДС в среде седиментогенных и затем литогенных вод) основные процессы генерации, миграции, аккумуляции нефти и углеводородных газов.

В подзоне апокатагенеза в рамках термодегидратационных и частично геодинамических эксфильтрационных ГГДС в среде преимущественно литогенных вод происходит частично дополнительное формирование и трансформация состава газовых скоплений (в сторону неуглеводородных компонентов), консервация и деструкция залежей нефти.

Наконец, в зоне гипергенеза в рамках инфильтрационных ГГДС (в среде с участием атмосферных вод) преобладают процессы деструкции залежей нефти и газов и веществ, их составляющих.

Должно быть совершенно ясно, что в настоящее время в нефтегазовой гидрогеологии очень важное место занимают проблемы техногенеза, техногенных трансформаций гидрогеологических условий и их следствий.

Также должно быть ясно, что техногенез в нефтегазоносных областях проявляется, в первую очередь, при разработке нефтяных и газовых месторождений. В этих условиях в качестве главных типов техногенных процессов можно выделить: инъекционные процессы – привнос вещества в литосферу (в основном водные растворы) и эжекционные процессы – изъятие вещества из литосферы (водные растворы, нефть, газы). Можно выделить ещё и сложные техногенные процессы, совмещающие привнос и изъятие вещества в литосферу и из неё.

При разработке нефтяных и газовых месторождений может происходить: а) истощение водоносных горизонтов (нефтегазоводоносных и водоносных верхних); б) изменение состава водных растворов в нефтегазоводоносных пластах (при закачке посторонних вод и попаданий технологических жидкостей); в) воздействие на верхние горизонты в виде их загрязнения и засоления, а также появления там геогидродинамических аномалий.

Сходные явления возникают при подземном хранении газов и жидкостей и захоронении жидких промышленных отходов (конечно, в первую очередь также при разработке месторождений газов и нефти).

Все эти вопросы относятся к ведению важной прикладной отрасли нефтегазовой гидрогеологии – экологической нефтегазовой гидрогеологии (или нефтегазовой экологической гидрогеологии).