

ФЛЮИДОДИНАМИКА НЕФТЕГАЗОВЫХ СКОПЛЕНИЙ

В.И. Иванников
(ООО "ПРОСИСТЕМА-ТЭТ")

Отправным пунктом многих теорий в нефтяной геологии, а иногда камнем преткновения некоторых из них служит тот непреложный факт, что имеется глобальный уровень в 1...3 км концентрации нефтегазовых скоплений, в которых сосредоточено более 90 % всех известных запасов углеводородов (УВ).

Статистика распределения УВ скоплений в осадочном комплексе пород явилась в свое время основой для построения термальной теории образования нефти и газа. Суть ее отражена на рис. 1, взятом из работы [1].

Сторонники термальной теории и ее новых модификаций, руководствуясь градиентом температуры, расчленяют разрез осадков на зоны диагенеза, катагенеза и гипергенеза, где якобы происходит «созревание» и «дозревание» захороненного органического вещества (ОВ) — керогена, который сначала «генерирует» нефть, а потом — газ. При этом «созревание» длится примерно 100...300 млн лет.

Уже сама терминология говорит об отсутствии физико-химического содержания процесса и потому вызывает множество вопросов. Справедливая критика на этот счет была высказана Б.Ф. Дьяковым [2].

Предлагаемая автором теория конвергенции углеводородов распределение нефтяных залежей в стратиграфическом разрезе объясняет двумя основными причинами:

В представленной статье автор, следуя ранее сформулированной теории конвергенции углеводородов, дает обоснование механизмам их первичной и вторичной миграции, движущими силами которых являются диффузио-осмотический процесс и флотация.

In this article the author develops the earlier proposed theory of convergence of hydrocarbons and formulates mechanisms of their primary and secondary migration. It is established that the driving force of it are the diffusion-osmosis process and floatation.

1) эвакуацией битумоидов на стадии предельного уплотнения нефтематеринских пород;

2) латеральной флотомигриацией тяжелых УВ в коллекторах в связи с образованием свободной газовой фазы.

Эвакуация подвижной части керогена заканчивается на глубине около 2000 м, после

чего в коллекторах остаются молекулярно-растворимые компоненты будущей нефти (РОВ).

На тех же глубинах поступающие из недр газы (CH₄, CO₂ и др.) при насыщении коллектора свыше предела растворимости в воде переходят в свободное (пузырьковое) состояние и становятся активными носителями тяжелых УВ.

Именно газы и в первую очередь метан, а не вода являются транспортирующими агентами. Они выполняют роль собирателей РОВ и путем флотации аккумулируют их в единое нефтяное тело, которое принято называть месторождением.

Из этих условий следует, что зона продуцирования нефти (1,5...3,0 км), по существу, представляет собой интервал глубин, в пределах которого осуществляются миграция и аккумуляция УВ и образование их скоплений.

Ниже- и вышележащие продуктивные пласты, в которых находят нефтяные залежи, очевидно, ранее располагались в диапазоне указанных глубин, а позднее в результате тектонических движений фундамента были подняты или опущены на современ-

ные гипсометрические отметки. Скопления жидких УВ в случаях погружения оставались малоподвижными и обогащались метаном, вследствие чего формировались газоконденсатные залежи или залежи с нефтяными оторочками. В случаях поднятия и внедрения инфильтрационных вод происходили процессы окисления и бактериального заражения нефти, в результате которых сформировались залежи тяжелых нефтей и битумов (таких, как Атабаска в Канаде, которое по, данным В.М. Гассоу, когда-то представляло собой огромную залежь нефти с газовой шапкой).

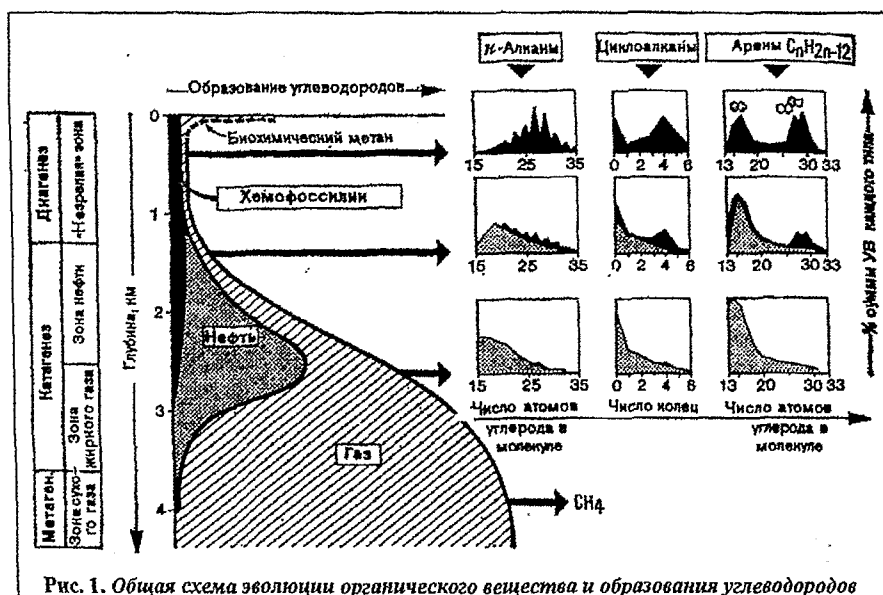


Рис. 1. Общая схема эволюции органического вещества и образования углеводородов

При разгерметизации и дегазации нефтяных скоплений остаются асфальты, озокериты, керы и т.п.

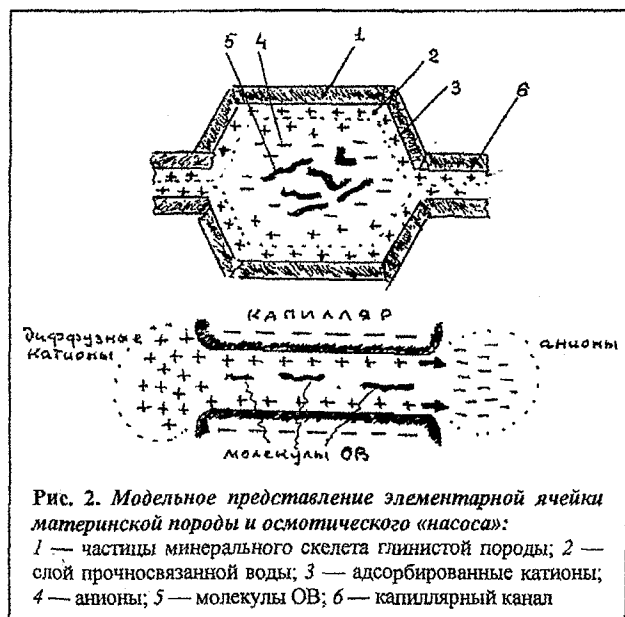
Превычная миграция УВ

В предыдущих публикациях [3 и др.] было показано, что на стадии диагенеза (на стадии формирования сапропелевого осадка) ОВ распределяется в поровом объеме пелитовых пород в размерах молекул и макромолекул и консервируется там в виде дискретной массы. По мере уплотнения пелитовых осадков извлечение ОВ путем выдавливания, как это предполагается в геологической литературе, практически невозможно.

Более или менее реальный механизм эвакуации ОВ состоит в следующем. При отжатии вод из порового объема вместе с ними уходит в коллектор анионная часть растворенных солей, а катионная остается связанной с минеральным скелетом материнской породы. Разделение зарядов на границе материнских пластов и коллекторов создает стационарную разность химических потенциалов (диспропорцию зарядов). В коллекторе вода получает избыток щелочных элементов, а в поровом объеме глинистых пластов — избыток кислотных, за счет чего приводится в действие осмотический процесс выноса органических молекул (ОМ) в коллектор, как показано на рис. 2. При этом интенсивность осмотического массопереноса жидкости и его силовые возможности возрастают по мере уплотнения материнских слоев. Косвенной уликой осмотической эвакуации УВ из материнских пород может быть повышенная соленость вод, сопровождающих нефтяные скопления.

Вторичная миграция УВ

Ее двигателями, вопреки распространенному мнению, являются не водяные потоки, а газовые. Мы должны ясно осознавать и понимать, что в ус-



ловиях гранулярного коллектора матричной структуры, заполненного водой, перемещение флюидов невозможно без наличия свободной газовой фазы, которая способна деформироваться и изменять свой объем. Только в этом случае капельно-жидкие частицы УВ могут всплывать и дифференцироваться по плотности, замещая воду в поровом пространстве коллектора.

Убедительным и наглядным доказательством этому служат забытые тестовые опыты Эммонса и Тиля [4], показавшие, что частицы нефти в заполненном водой песчанике не всплывают. Лишь когда в трубках от внешнего воздействия образовывались пузырьки газа под небольшим давлением, наблюдался процесс миграции флюидов и происходило разделение их по плотности как в синклиналином, так и в антиклиналином положении модельных трубок.

Флотомиграция рассеянных в коллекторах тяжелых УВ осуществляется при поступлении туда растворенных газов (в основном CH_4 и CO_2) из глубинных разломов земной коры. Диффузионный поток газов, переходя в пористые пласты, образует локальные скопления, так как скорость диффузии здесь резко падает из-за отсутствия градиентов температуры и давления. Далее в латеральном направлении миграция газа идет порционно: за некоторое время происходит накопление газовой пачки, затем наступает ее перенасыщение и идет спонтанное выделение газа в пузырьковом состоянии. Затем процесс повторяется.

Степень перенасыщения зависит главным образом от наличия центров адсорбции газовых молекул в воде или на поверхности вмещающей породы. Эту роль выполняют, как правило, молекулы тяжелых УВ. Именно они являются концентраторами газовой фазы и, прежде всего, метана.

Пузырьковый газ, соединенный с молекулами тяжелых УВ, уже не растворяется, а всплывает по восстанию коллектора и аккумулируется в ловушках.

В этой связи интересны данные, полученные О.Л. Нечаевой, о составе углеводородных газов, растворенных в пластовых водах Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна. Оказалось, что жирность этих газов скачкообразно возрастает в интервале глубин 1,5...2,0 км. О.Л. Нечаева усматривает в этом отражение условий, благоприятствующих развитию миграции нефти.

Если в коллекторе отсутствует РОВ, то газ образует самостоятельные скопления в ловушках. Вот почему на больших глубинах погружения коллекторов обнаруживают в основном газовые залежи.

Общую схему процессинга миграции и аккумуляции УВ можно представить в виде следующих этапов:

- 1) компоненты нефти поступают в коллектор в виде молекул и макромолекул после эвакуации из материнских осадков;
- 2) газовые компоненты поступают в коллектор в виде молекул CH_4 и CO_2 по глубинным разломам земной коры и вторичным трещинам;

3) по мере насыщения входного участка коллектора газом его молекулы концентрируются и периодически выделяются в свободную фазу в виде микропузырьков;

4) газовые микропузырьки (в первую очередь метановые) адсорбируют молекулы тяжелых УВ, находящихся в коллекторе, и осуществляют их флотацию;

5) поток газа, переходящий в состояние окклюзии, транспортирует тяжелые УВ по восстанию коллектора до ловушки, где происходит накопление и разделение углеводородов.

В ловушках флотоагрегаты газа и тяжелых УВ взаимодействуют и объединяются, в результате чего нефтяные микрокапли отделяются от газовых пузырьков.

Степень увеличения метанизации нефтей вниз по разрезу явно говорит о том, что они донасыщались CH_4 после погружения пластов коллектора ниже зоны миграции, на глубины более 3000 м. Отсюда очевидна необходимость внешнего источника метана. Питающие глубинные разломы вполне объясняют стратиграфию распространения углеводородов — переход от нефтяных залежей к конденсатным и к чисто газовым скоплениям на больших глубинах.

Скопления нефтяных и газовых залежей нельзя рассматривать как консервную банку того времени, когда туда пришли нефть и газ. Миграция — это вечный процесс перемещения подвижных флюидов. Лишь тогда жидкие УВ остаются на месте, когда в результате негерметичности покрышки скопления теряют газовую фазу, так как она является носителем более тяжелых УВ при латеральной или вертикальной миграции.

Чтобы получить то, что называют месторождением нефти, а точнее, ее местом скопления, нужно по меньшей мере собрать рассеянные битумоиды в единое нефтяное тело. А это, прежде всего, задача миграции и аккумуляции тяжелых УВ.

Залежи Атабаски не могли образоваться без сосредоточения здесь огромного объема углеводородов в верхнемеловых отложениях. И только после этого за счет денудации вышележащих осадков они были разгерметизированы (лишились газовой фазы) и подверглись окислению и обогащению инородными элементами при взаимодействии с проточными водами.

500 млрд т тяжелой нефти Венесуэлы могли собраться в олигоцене в единое месторождение только при условии, что для его образования потребовалось как минимум 1,5 трлн т жидких УВ и соответствующее количество газа, который был потом утерян (улетучился в атмосферу при эрозии покрышки). По данным Б.А. Соколова и А.Н. Гусевой (1994), скорость накопления УВ здесь превышала 50 тыс. т в год.

Этот характерный пример говорит о существовании мощного источника газогенерации, питающего латеральную миграцию УВ.

Гидравлическая теория латеральной миграции УВ не выдерживает строгой критики. Плавуемость, или гравитационное разделение флюидов является

более универсальным силовым фактором для миграции углеводородов в коллекторах, нежели водные потоки.

Движение подземных вод приводит, скорее всего, к разрушению скоплений УВ и их деградации, чем к их аккумуляции. Об этом говорят имеющиеся факты опреснения подстилающих вод (так как вероятность скопления нефти прямо зависит от степени солености воды).

Отдавая ведущую роль газам и в первую очередь углеводородным газам как носителям и собирателям нефти, следует иметь в виду, что большие объемы газов в осадочной толще пород генерируют также угольные пласты и другие известные источники. Они совокупно с глубинными (мантийными) газами осуществляют общий процесс миграции и аккумуляции углеводородов.

Для полноты общей картины миграции и аккумуляции УВ необходимо рассмотреть РVT-условия на глубинах более 3000 м.

Если принять зону 1500...3000 м как интервал глубин, где метан существует в свободном газовом состоянии, то ниже углеводородные газы должны находиться в жидком состоянии.

Внедрение метана в пористые пласты из глубинных разломов представляет собой необратимый процесс, поэтому в пластах-коллекторах возникают локальные скопления метановой жидкости. Здесь по мере насыщения и перенасыщения воды метаном и его спутниками имеет место обособление углеводородной фазы, а затем обращение фаз.

Жидкие газогидраты дифференцируются в устойчивом объеме пласта-коллектора по плотности и таким путем образуют однофазные метановые скопления. Они при изменении наклона пластов струйно мигрируют по восстанию до попадания в ловушки. Перетоки жидких газогидратов в серии ловушек, расположенных на региональном подъеме пласта-проводника, не вызывают сомнений.

По-видимому, так идет процесс, который называют дифференциальным улавливанием нефти и газа (Максимов С.П., Гассоу В.М., 1954). Нефть в миграционных струях присутствует как продукт растворения в метановой жидкости тяжелых УВ, эмигрировавших в коллектор из нефтематеринских осадков.

Разделение ископаемых углеводородов на нефть и газ с позиции органической теории их происхождения, вообще говоря, вызывает недоумение, так как они генерируются одним и тем же ОВ и различаются между собой только по степени летучести.

В теории конвергенции это разделение УВ флюидов оправдано тем, что нефть и газ имеют разнородное происхождение, хотя нельзя игнорировать участие биогенного метана, особенно весьма значительные его объемы, поступающие из смежных угольных пластов.

Однако независимо от природы углеводородных газов они являются активными компонентами углеводородных систем (смесей). Это выражается в том, что они:

выполняют функции собирателя и аккумулятора тяжелых УВ при формировании нефтяных скоплений;

служат средой для растворения тяжелых УВ, в результате чего образуются газоконденсатные и газовые залежи с оторочками нефти;

создают и поддерживают запас упругой энергии нефтяных скоплений в залежах.

Некоторые общие выводы

1. Главная фаза нефтегенерации есть ничто иное, как интервал глубин погружения продуктивных пластов, где происходили процессы миграции и аккумуляции нефтяных углеводородов.

2. Газ и нефть при латеральной миграции в пластах-коллекторах перемещались вместе и порционно, при этом газ выполнял роль носителя нефтяных УВ.

3. На глубинах, где газ по PVT-условиям не мог находиться в газообразном состоянии, он концентрировался в коллекторе в капельно-жидкой

форме, всплывал и мигрировал по пластам в виде общей массы, растворяя при этом рассеянные нефтяные углеводороды.

4. Газоносная аккумуляция УВ в ловушках создавала нефтяные, газонефтяные, газоконденсатные и газовые залежи. Их разрушение и переформирование обязаны движению подземных вод (там, где оно имело место) и тектоническим подвижкам, приводящим к разгерметизации залежей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тиссо Б., Вельте Д. *Образование и распространение нефти*. — М.: Мир, 1981.
2. Дьяков Б. Ф. *Микронепть — еще не нефть // Геология нефти и газа*. — 1988. — № 1.
3. Иванников В. И. *Миграция и трансформация органического вещества в недрах // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений*. — 1999. — № 6.
4. Рассел У. Л. *Основы нефтяной геологии*. — Л.: Госнефтеиздат, 1958.

УДК 553.9.06

ОСНОВНЫЕ ВЗГЛЯДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЮ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ И РОЛЬ В ЭТОМ ПРОЦЕССЕ ФЛЮИДОДИНАМИКИ

Л.М. Якушин

(РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина)

Рассматриваются основные взгляды в соответствии с органической и неорганической концепциями формирования и эволюции месторождений углеводородов (нефти, газа и газоконденсатов). Особое внимание уделено возможным механизмам формирования месторождений УВ с использованием неорганической концепции. В основе концепции лежит режим субвертикальной миграции флюидов, в составе которых имеются и углеводороды по зонам разломов из глубоких недр Земли. Приведены фактические данные о параметрах флюидных систем, распределении их в вертикальном разрезе, обуславливающих возможность восходящей миграции флюидов.

The basic views of organic and inorganic forming and evolution of hydrocarbon fields (oil, gas and gas condensates) are viewed. The emphasis was on the possible mechanism forming CH-fields with the inorganic concept based on subvertical migration of fluids across zones of breaks from the deep interior of Earth. It looked real data at the feature of fluid systems, their allocation in an upright section, which is brought about the feasibility of rising migration of fluids.

В работе В.Е. Хаина и Б.А. Соколова [1] констатируется, что, несмотря на значительные успехи в развитии теоретической нефтегазовой геологии за последние два десятилетия, причины резкой избирательности размещения месторождений нефти и газа в литосфере все еще не находят однозначного объяснения.

Если за основу эволюции взглядов на причины, объясняющие размещение скоплений нефти и газа, принять господствовавшую в то или иное время идею, то нетрудно видеть, что история этих взгля-

дов достаточно четко распадается на четыре этапа. При этом последний этап, названный «флюидодинамическим» или «современным», начинается с середины 1980-х гг. Его особенность заключается в признании эволюционных динамических факторов генерации углеводородов (УВ), установлении генетических связей между динамикой мощного осадконакопления и интенсивного прогрева, протекающего в условиях как растяжения, так и сжатия. Прогрев связан не

только с кондукционной передачей тепла, но, как становится все более очевидным, и с конвективным теплопереносом [1].

В дальнейшем анализе рассматриваемой проблемы основное внимание будет уделено условиям и характеру конвективного теплопереноса с потоками флюидов, их возможной роли в образовании и эволюции месторождений УВ. При этом в первую очередь необходимо определить, что будем понимать под термином «флюиды». Флюиды — это циркулирующие в земных недрах насыщенные га-