

THE PRINCIPLE PECULIARITIES OF OIL AND GAS GEOLOGY

B. A. SOKOLOV

Oil and gas have been the basis for the fuel and power and other industries, the guarantee of our daily comforts. This happy state of affairs is likely to prevail, we are told, over the next few decades. This optimistic conclusion is based on the unique properties of these fossil fuels, namely, the mechanisms of their formation, their location, and their ability to accumulate huge amounts of energy.

Нефть и природный газ – основа топливно-энергетического комплекса, многих отраслей промышленности, комфортной жизни населения. Такое положение сохранится в ближайшие десятилетия. Данный вывод базируется на феноменальных особенностях этих полезных ископаемых – специфике их образования и размещения, способности аккумулировать в себе огромный энергетический потенциал.

© Соколов Б.А., 1998

ФЕНОМЕНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ

Б. А. СОКОЛОВ

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН

Нефть и природный газ по происхождению, условиям размещения в недрах Земли, физико-химическим свойствам, роли в мировой экономике без преувеличения можно отнести к чудесным явлениям природы. Они играют выдающуюся роль в развитии современного общества благодаря широкому географическому распространению и огромным ресурсам, подчинив себе прогресс техники, структуру промышленности, уровень развития коммунального хозяйства. Не случайно в XX веке экономика мира развивалась под знаком всевозрастающего потребления углеводородного сырья. Нефть и газ составили основу топливно-энергетического комплекса, наземного, морского и воздушного транспорта, химической промышленности, комфортного быта населения.

Хотя нефть и природный газ известны с доисторических времен, промышленное использование нефти началось с конца XVIII – начала XIX века, то есть менее 200 лет назад, что связано с изобретением парового двигателя (Уайт, 1784 год), паровоза (Фултон, 1804 год) и парохода (Стефенсон, 1814 год), потребовавших большого количества смазочного масла. Во второй половине XIX века, кроме того, возникла потребность в керосине для освещения улиц и домов. По этой причине вторая половина прошлого века вошла в историю нефтяной промышленности под названием “керосинового” периода.

Следующий этап развития нефтяной промышленности и тесно связанной с ней нефтяной геологии приходится на конец XIX – начало XX века, когда были изобретены двигатель внутреннего сгорания (Отто, 1876 год), автомобиль (Даймлер и Бенц, 1886 год) и дизельный двигатель (Дизель, 1897 год). Появление высокоэкономичных бензиновых и мазутных моторов произвело революцию в транспорте, химии, военном деле и резко увеличило спрос на продукты переработки нефти, следствием чего стал беспрецедентный рост геологоразведочных работ, позволивший увеличить мировую добычу нефти с 22 млн т в 1910 году до 3,5 млрд т в 1997 году.

Потребность в природном газе возникла по сравнению с потребностью в нефти на 100 лет позже, уже в XX веке, и испытала бурный рост во второй

его половине, когда развитие энергетики и коммунального хозяйства без газа стало немыслимо. Разработка газовых месторождений позволила достаточно быстро довести добычу газа до 2 трлн м³ в год, что превратило нефть и природный газ в фундамент благополучия современной цивилизации. Это положение будет сохраняться многие десятилетия, а скорее всего, и в течение всего следующего столетия. Нефть и газ пока реальной альтернативы не имеют, и, следовательно, остается необходимость в развитии нефтегазовой геологии, техники и технологии ее поисков на суше и в акваториях, а также в подготовке высококвалифицированных специалистов для этих областей науки и техники.

На 1 января 1995 года суммарные запасы во всех обнаруженных месторождениях мира были оценены в 140 млрд т нефти и 140 трлн м³ газа. При сохранении существующего уровня годовой добычи этого должно хватить на несколько десятилетий. За указанное время в освоение будут вовлечены к уже разрабатываемым 200 бассейнам еще 200 бассейнов (их изучение только начинается), а 150 ждут своей очереди. Геологопоисковые работы в XXI веке, безусловно, приведут к открытиям новых месторождений, а значит, и приросту запасов углеводородного сырья.

Анализ размещения данных ресурсов на земном шаре показывает: с одной стороны, месторождения встречаются практически повсюду, с другой — обладают разной концентрацией. Это две фундаментальные черты нефти и природного газа; первая связана с геосферной природой исходного для них органического вещества, вторая — с неравномерным распределением участков повышенной тепловой энергии, тяготеющих к осадочным бассейнам Земли, где накапливающееся органическое вещество трансформируется в нефть и газ.

ГЕОСФЕРНЫЙ ФЕНОМЕН

Широкое распространение нефти и газа обусловлено генетической связью этих полезных ископаемых с биосферой и седиментосферой — внешними оболочками нашей планеты. Одна из уникальных особенностей Земли как космического тела — наличие жизни. Этим Земля отличается не только от остальных планет Солнечной системы, но и, возможно, от всех других космических объектов как в нашей Галактике, так и во Вселенной. Вся дискретная совокупность живых организмов, распространенных в твердой, жидкой и газовой оболочках Земли, составляет одну фундаментальную систему — биосферу (Вернадский, 1925 год).

Биосфера, присущая Земле, предопределяет целый спектр характернейших особенностей ее строения и развития. Одна из таких особенностей — наличие сообщества горючих полезных ископаемых, появление и сосуществование которых закономер-

но связаны с функционированием биосферы. Это сообщество включает нефть, природный газ, уголь и их производные, именно те полезные ископаемые, наличие которых в недрах Земли и предопределило появление индустриального общества и его невиданный научно-технический прогресс.

Образно говоря, горючие ископаемые в общем виде — это погребенная форма существования преобразованной живой материи, то есть биосферы, появление которой уже в раннем докембрии предопределило возможную нефтегазоносность метаморфизованных отложений любого постлеархейского возраста.

Древняя биосфера представляла собой оболочку, почти нацело состоящую из бактерий — организмов, ставших начальным звеном всего живого на Земле. Поэтому биосферу в первые миллиарды лет ее существования можно рассматривать как бактериальную сферу (бактериосферу или монерасферу). Впоследствии к ней присоединились сферы четырех остальных царств жизни (простейшие, преимущественно водоросли, грибы, животный и растительный мир), образовав в совокупности современную биосферу со своими дискретностью, структурными связями и энергетикой. Однако бактериосфера, которая с фанерозоя составляет элемент биосферы, продолжает играть решающую роль в жизни Земли, а особенно в геологических процессах, благодаря повсеместному распространению, очень высокой производительности, приспособляемости к жизни в самых различных условиях (аэробных, анаэробных, низко- и высокотермобарических обстановках) и огромному энергетическому потенциалу (рис. 1).

Разлагающиеся остатки биологического мира захороняются в виде рассеянного органического вещества (ОВ) вместе с минеральными частицами, являясь неперменной компонентой осадочных пород. ОВ формируется за счет различного типа микроорганизмов (бактерии, простейшие, низшие водоросли), живущих в водоемах.

Захороненное вместе с минеральными осадками рассеянное ОВ претерпевает сложную биохимическую трансформацию, приводящую к созданию своеобразного нефтяного “полуфабриката”, получившего название керогена. Основную компоненту керогена составляют липиды, а также дезинтегрированные остатки наземной растительности. Растительный детрит — это гумусовая составляющая керогена, а липиды — сапропелевая. Липиды — основной исходный источник для углеводородных флюидов — нефти и природного газа. Кроме того, источником больших количеств газа служит уголь.

Накопление ОВ связано в первую очередь с аквальными осадочными бассейнами, представляющими собой гигантские накопители ископаемых и современных остатков биосферы. В осадочных бассейнах, в качестве которых выступают океаны, моря и озера настоящих и прошлых эпох, и

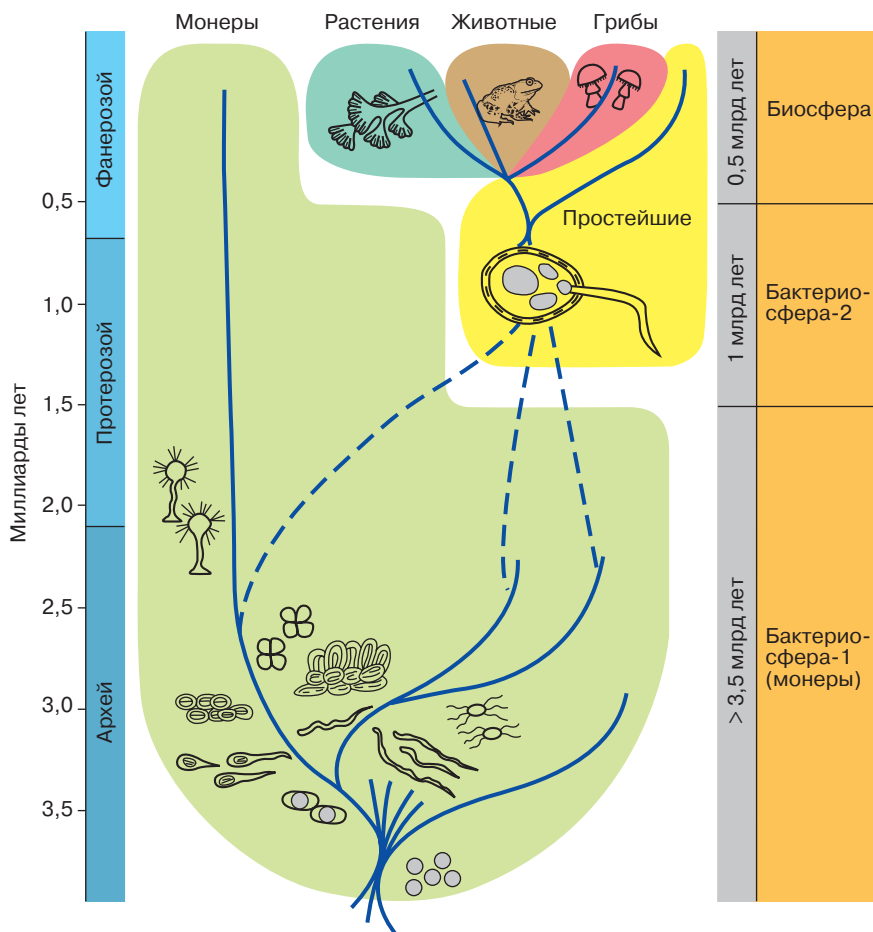


Рис. 1. Эволюция во времени структуры биосферы Земли (по Л. Маргелису, 1983, с добавлением)

концентрируются толщи, обогащенные органическим веществом, за счет преобразования которого и формируются скопления нефти и газа (рис. 2).

Вся совокупность современных и ископаемых осадочных бассейнов образует седиментосферу. Седиментосфера, как и бактериосфера, имеет повсеместное распространение и сопровождает Землю в течение всей ее геологической истории. Следствием этого является широкое распространение нефтегазовых скоплений различных размеров и различного возраста образования по всему лику Земли. Это обстоятельство позволило ввести в обиход понятие “углеводородная сфера” Земли, или увосфера, объединяющая всю совокупность углеводородных полезных ископаемых. Увосфера (УВ), как биосфера, гидросфера и седиментосфера Земли, представляет собой дискретную оболочку, имеющую повсеместное распространение, но с разной плотностью концентрации углеводородов в осадочных породах.

Таким образом, существование увосферы предопределяется, с одной стороны, наличием у Земли

бактериосферы, а с другой – осадочными бассейнами – накопителями органического вещества, в которых реализуются процессы, трансформирующие органическое вещество в нефть и газ. Седиментосферная особенность, как и биосферная, предопределяет “повсюдность” распространения нефти и газа на Земле.

ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН

Флюидодинамический феномен контролирует как сам процесс нефтегазообразования в осадочных бассейнах, так и количественную и качественную характеристику образующихся скоплений или, другими словами, избирательный характер размещения нефтегазовых залежей на Земле.

Проблема механизма нефтегазообразования является ключевой и в деталях еще требует своего решения. Общность состава ОВ осадочных пород и УВ – важный аргумент в пользу биосферного источника нефти и газа. Очевидна и роль тепловой энергии (прогрева) для получения жидких и газовых УВ

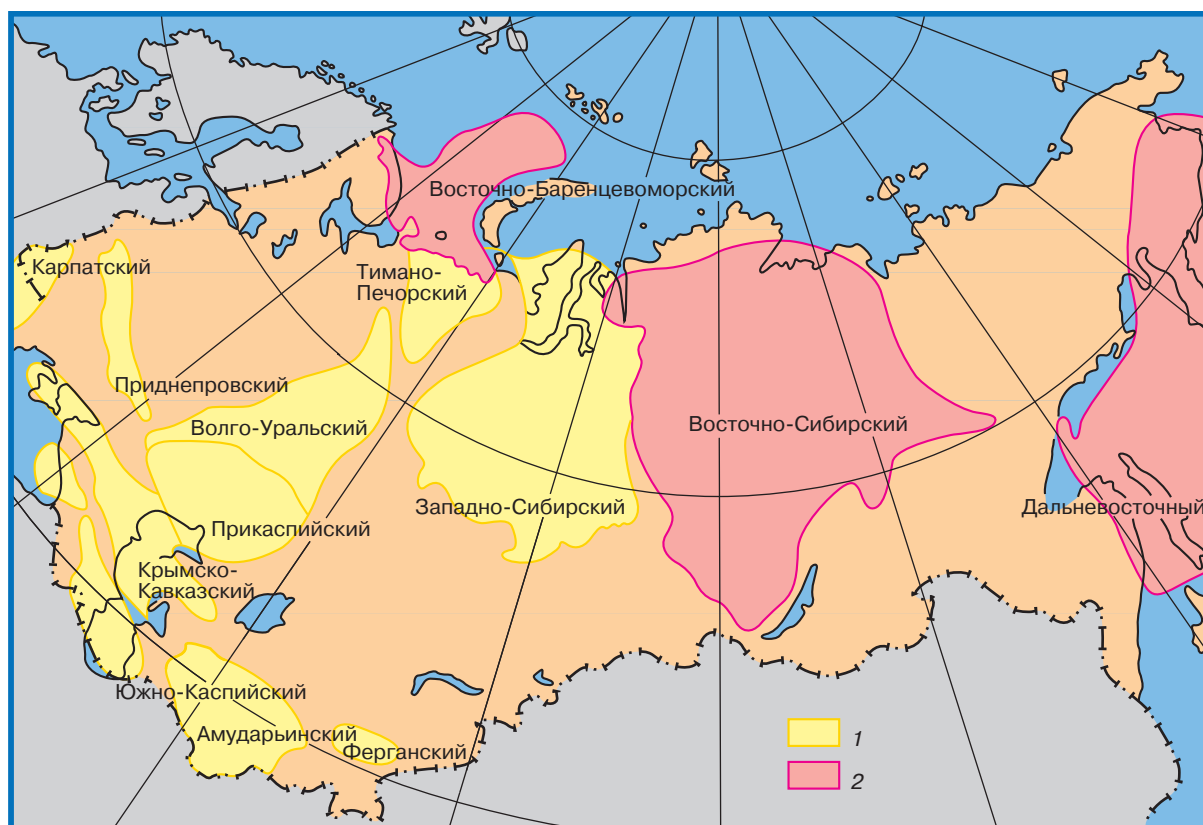


Рис. 2. Размещение нефтегазоносных бассейнов по территории СНГ. 1 – бассейны, где идет добыча нефти и газа; 2 – бассейны, где она только начинается

из твердого исходного вещества. Эти обстоятельства позволили создать концепцию об очагах генерации УВ и сформулировать представления о главных фазах газо- и нефтеобразования, получивших распространение во всем мире. Согласно этим представлениям, генерация нефти протекает в зоне с температурой от 60 до 120°С.

В последнее время к механизму нефтегазообразования стало возможным подойти с позиций общих законов трансформации горных пород при их нагреве, происходящем в процессе погружения.

Сущность подхода заключается в трех положениях. Первое обязано установлению закона вертикальной тектоно-петрологической расслоенности литосферы и верхней мантии, выражающейся чередованием зон уплотнения и разуплотнения. Второе заключается в том, что разуплотненные зоны представляют собой вместилища природных породных растворов и расплавов (ППРР). И третье положение определяется тем, что флюиды, насыщающие зоны разуплотнения, при нагреве значительно повышают внутреннее давление и за счет этого расширяются. Это обстоятельство приводит к созданию своеобраз-

ной гидравлической подушки, приподнимающей вышележащие слои, а также их прорывающей.

В результате возникает неравновесная и неустойчивая система, позволяющая, с одной стороны, перемещаться отдельным блокам земной коры относительно друг друга в вертикальном и горизонтальном направлениях, а с другой – за счет прорыва флюидов осуществлять тепломассоперенос из глубоких частей Земли в ее верхние горизонты.

Уместно отметить, что представление о ППРР зон разуплотнения дает возможность понять и объяснить такие широко распространенные явления, как сейсмичность, покровообразование, гидротермальное рудообразование, соляно-купольный и глиняный диапиризм, грязевой вулканизм, вулканическую и магматическую деятельность, алмазоносные трубки взрыва, гидротермальные источники.

Общепризнанной теории возникновения зон разуплотнения в земной коре и верхней мантии пока не существует. Наиболее популярна концепция дефлюидизации. При погружении и нарастании температуры происходит трансформация физических свойств минералов и горных пород. Одни минералы переходят в другие. При этом их наименее

связанные компоненты вытесняются из структуры минералов. Другими словами, происходит потеря летучих компонентов, которые включают в себя прежде всего воду, а также уголекислоту, нафтеновые кислоты, углеводороды, различные газы. Происходит так называемая дегидратация, или дефлюидизация, пород, за счет которой создаются зоны разуплотнения, насыщения растворами и расплавами. Новообразованные флюиды, и в первую очередь вода, переходя из связанного состояния в свободную фазу, переводят в раствор не только легко растворимые соли, но и такие породообразующие минералы, как кварц, кальцит, алюмосиликаты и др. ППРР, участвующие в создании зон разуплотнения, возникают и при плавлении горных пород в условиях погружения на большие глубины в зоны высоких температур. Так, пласты каменной соли трансформируются в горизонты жидкой раппы, которая при дальнейшем прогреве приобретает высокую внутреннюю энергию и прорывает вышележащие слои, образуя соляные диапиры и купола. Примерами этого же явления могут служить магматические и вулканические явления и т.д.

Все это позволяет сделать два основополагающих вывода. Первый – нефть и газ, объединяемые понятием углеводородного раствора (УВР), есть не что иное, как тривиальный вариант сравнительно низкотемпературной дефлюидизации осадочных пород, обогащенных ОВ. Второй – саморазвитие осадочного бассейна, испытывающего интенсивное погружение, приводит к созданию мощной системы восходящих тепловых потоков, активизирующих процессы нефтегазообразования во всем бассейне. Чем интенсивнее прогибание, тем выше

уровень реализации нефтегазоматеринского потенциала, накопленного данным бассейном (рис. 3).

Другими словами, реализация нефтегазоматеринского потенциала в осадочном бассейне зависит от условий его прогрева. Эти условия на первом этапе связаны с внешними тепловыми потоками, источником которых являются тепловые потоки, образующиеся за счет дефлюидизации мантийных диапиров, а на втором этапе основная роль принадлежит теплоносителям из нижних частей осадочного разреза нефтегазоносного бассейна.

Как уже отмечалось, погружение осадочных пород сопровождается возникновением флюидонасыщенных зон разуплотнения. В верхней части осадочного разреза флюиды представлены водно-углеводородными компонентами, в нижней – водно-углекислыми, эвапоритовыми, рудными. Под действием возрастающей с глубиной температуры флюиды разогреваются и внутрипластовое давление аномально увеличивается. Это приводит к тому, что периодически разогретые флюиды прорываются в более высокие части осадочного разреза. Мигрирующие вверх флюиды, в свою очередь, являются мощными теплоносителями. Они реализуют конвекционный механизм весьма значительного дополнительного прогрева вышележащих осадочных толщ, и тем самым резко ускоряя их катагенетическое преобразование. Здесь происходит взаимодействие двух разнонаправленных вещественно-энергетических потоков. Один из них связан с погружением и катагенетическим преобразованием пород и содержащихся в них ОВ-продуктов жизнедеятельности бактериосферы, а с другой – с подъемом конвективного теплового потока, осуществляющего

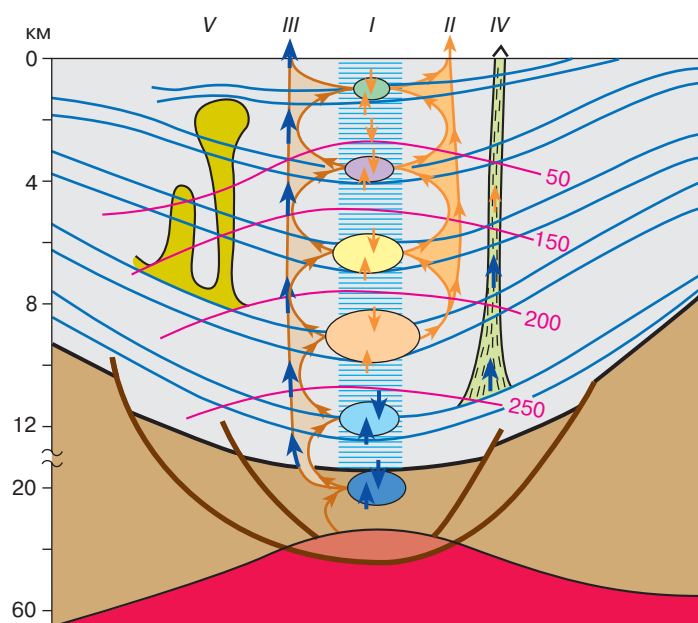
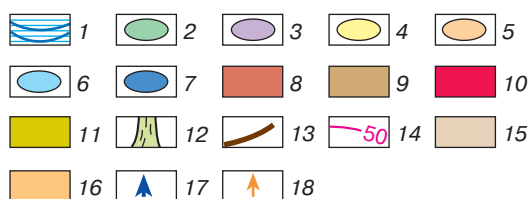


Рис. 3. Схема взаимодействия процессов погружения, конвекционного прогрева, диапиризма и нефтегазообразования в осадочных бассейнах: 1 – осадочный бассейн в условиях погружения (I); 2–7 – разуплотненные зоны флюидонасыщения (2 – нефтегазовая, 3 – газовая, 4 – зона нефтеобразования, 5 – зона термогенного газа, 6 – кислых газов, 7 – рудных флюидов); 8 – астеносфера; 9 – земная кора; 10 – верхняя мантия; 11 – соляные купола (V); 12 – грязевые вулканы (IV); 13 – литрические нарушения; 14 – изотермы; 15 – миграционные углеводородные теплоносители; 16 – миграционные потоки углеводородов (II); 17 – направление движения углеводородов; 18 – направление движения водно-углекислых флюидов



тепломассоперенос из нижних частей бассейна к его поверхности.

Вместе с тем следует иметь в виду, что составной частью вертикальных флюидных потоков закономерно являются нефть и природный газ, генерируемые очагами углеводородообразования. Очаги представляют собой погруженные части нефтегазоматеринских отложений, попавшие в зоны нефте- и газообразования с температурой 100°C и выше.

Углеводородные потоки, поднимаясь по трещинам и порам вверх по разрезу, пересекают коллекторские горизонты, где температура и давление ниже соответствующих показателей очагов генерации. Это приводит к насыщению этих горизонтов нефтью и газом. Если процесс погружения бассейна достаточно длителен, то в его разрезе появляется несколько уровней расположения очагов генерации, а над ними – несколько этажей размещения залежей углеводородов. Причем если внизу состав нефтей и газа приблизительно отвечает составу ОБ сопряженного с ними очага генерации, то в более высоко расположенных скоплениях нефти и газа их химический состав имеет смешанный характер за счет смешения углеводородов, мигрировавших из различных ниже расположенных очагов.

Из сказанного вытекает очень важное следствие, названное принципом встречного движения (ПВД): чем энергичнее и длительнее погружение осадочного бассейна, тем более высокую температуру будет иметь восходящий тепловой поток и тем энергичнее будет протекать процесс нефтегазообразования. ПВД следует рассматривать как важный механизм размещения и формирования химического состава углеводородных залежей в осадочном бассейне с мощностью разреза более 3–5 км.

Химический состав нефти и газа будет формироваться за счет смешения углеводородов разных генерационных толщ. Этот еще один важный вывод разрабатываемой флюидодинамической концепции до сих пор практически не учитывался при изучении геохимии нефти и газа и корреляции их состава с составом ОБ генерационных толщ.

Таким образом, нефтегазообразование представляет собой универсальный саморазвивающийся процесс, закономерно сопровождающий существование осадочных бассейнов. Последние являются накопителями ОБ и производителями УВ. Осадочные бассейны, имеющие повсеместное распространение, являются своеобразными заводами по производству нефти и газа.

За всю историю своего существования система осадочных бассейнов произвела гигантское количество нефти и газа. Это многие триллионы тонн нефти и кубических метров газа. Если бы лишь часть этого количества попадала на поверхность Земли, то давно бы жизнь на планете перестала существовать. Однако развитие бассейнов происходит таким

образом, что основные количества УВ перехватываются осадочными слоями с невысокими термобарическими характеристиками, а те количества, которые все-таки достигают поверхности Земли, уничтожаются бактериями.

Статистика размещения по глубине месторождений нефти и газа в бассейнах мира однозначно свидетельствует о наличии оптимального глобального уровня в 1–3 км, на который приходится до 90% всех запасов нефти и газа. В бассейнах бывшего

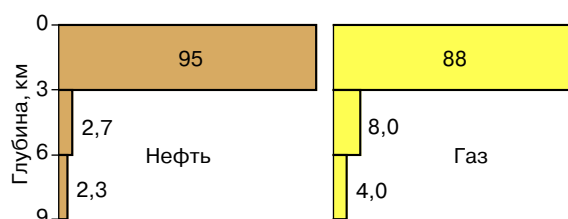


Рис. 4. Распределение по глубине залегания запасов нефти и газа в бассейнах СНГ (по А.Г. Габриелянцу, 1991)

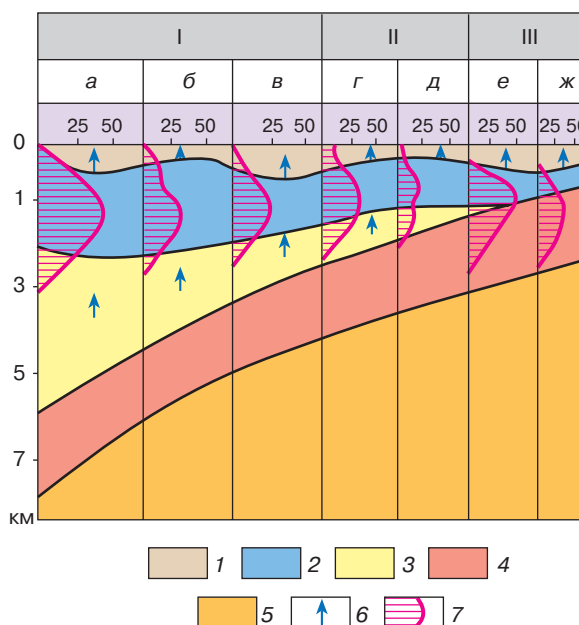


Рис. 5. Положение очагов нефтегазообразования и зон накопления нефти и газа в бассейнах различного типа (I – разобщенного, II – сближенного, III – совмещенного): а – Южно-Каспийский бассейн, б – Венский, в – Мексиканского залива, г – Паннонский, д – Западно-Сибирский, е – Пермский, ж – Волго-Уральский. 1 – верхняя транзитная зона миграции УВ, 2 – главная нефтеносная зона, 3 – нижняя транзитная зона УВ, 4 – положение очагов генерации нефти, 5 – зоны генерации газа, 6 – направление миграции УВ, 7 – распределение УВ ресурсов по глубине (в %)

СССР на глубинах до 3 км сосредоточено 95% запасов нефти и 88% запасов газа (рис. 4).

Что касается глубинного положения очагов генерации, которым отвечают зоны с температурой около 100°C, то для него характерен большой разброс в интервале от 2 до 10 км и более (рис. 5). Причем если первая статистическая особенность имеет универсальный характер для любого типа бассейнов, то вторая индивидуальна для каждого конкретного бассейна.

Из сказанного следует, что характер прогрева, зависящий от флюидодинамических особенностей осадочного бассейна, является важным критерием оценки их нефтегазоносности.

Таким образом, нефтегазоносность Земли выступает как феноменальное следствие ее геосферного развития. Взаимодействие биосферы и седиментосферы приводит к возникновению углеводородной сферы, существующей как саморазвивающаяся автоколебательная система. Эта система – важнейший фактор существования Земли и только ей присущего цивилизованного мирового сообщества. Изучение этой системы – фундаментальная естественнонаучная проблема.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Васьковский В.Е.* Липиды // Соросовский Образовательный Журнал. 1997. № 3. С. 32–37.
2. *Вассоевич Н.Б.* Геохимия органического вещества и происхождение нефти. М.: Наука, 1986. 368 с.
3. *Вассоевич Н.Б.* Нефтегазоносность осадочных бассейнов. М.: Наука, 1988. 260 с.
4. *Семенович В.В., Высоцкий И.В., Корчагина Ю.И. и др.* Основы геологии горючих ископаемых. М.: Недра, 1987. 397 с.
5. *Соколов Б.А.* Пять парадоксов нефтегазовой геологии. // Вестн. МГУ. Сер. геол. 1995. № 2. С. 6–14.
6. *Соколов Б.А.* Нефтегазоносность Земли // Наука в России. 1996. № 6. С. 16–20.

* * *

Борис Александрович Соколов, профессор, член-корреспондент РАН, декан геологического факультета МГУ, зав. кафедрой геологии и геохимии горючих ископаемых, заслуженный деятель науки Российской Федерации, академик РАЕН, Международной академии наук высшей школы, Международной восточной нефтяной академии (г. Баку). Область научных интересов: геология и геохимия нефти и газа, поиск и разведка нефтегазовых месторождений. Автор более 650 научных статей, 12 монографий и трех учебных пособий.