

Теории происхождения нефти:

тезис —

антитезис —

синтез

Примечательно, что, несмотря на большое экономическое значение и огромный объем тщательно проведенных исследований, в вопросе происхождения нефти остается больше неясностей, чем для любого другого широко распространенного природного вещества.

Г.Д.Гедберг, президент американского геологического общества

Спор о биогенном (органическом) или абиогенном происхождении нефти особенно интересен для российского читателя. Во-первых, углеводородное сырье — один из основных источников дохода в бюджете страны, а во-вторых, российские ученые — признанные лидеры многих направлений в этом старом, но все еще не закрытом научном споре.

Непримиримые кланы

Суть самой распространенной органической модели образования нефти сформулировал еще М.В.Ломоносов, писавший в 1763 году о «рождении оной бурой материи... из остатков растений под действием тепла Земли». Вторая половина XIX века прошла в основном под знаком абиогенной модели Д.И.Менделеева. Изучив нефть Апшерона, ученый выдвинул гипотезу о том, что она образуется при химических процессах, протекающих в разогретых недрах Кавказского хребта. Он даже предположил, что вдоль склонов Большого Кавказа должны быть нефтяные месторождения. Правда, именно там, где указывал Н.И.Менделеев, месторождений не оказалось — их нашли в осадочных бассейнах, в том числе совершенно не связанных с горными хребтами.

В XX веке явно доминировала органическая модель. Российские геологи-нефтяники (Н.Б.Вассоевич, И.М.Губкин, А.П.Архангельский и многие другие) доказали, что существует

тесная связь между углеводородными месторождениями и осадочными породами, и это открытие стало частью общей концепции В.И.Вернадского о роли жизни в формировании геохимических циклов. Теория В.И.Вернадского о роли биосферы в эволюции Земли признана практически всеми, и, как оказалось, продукты биосферы проникают в недра Земли гораздо глубже, чем предполагал сам автор гипотезы. Дело в том, что сейчас ученые широко обсуждают модель глубинного перемещения первичного осадочного вещества (вместе с преобразованными биологическими остатками) через мантию Земли. Океанические плиты, в том числе и осадочные породы с остатками органики, затягиваются в мантию Земли там, где одна плита «подлезает» под другую (так называемые зоны субдукции на активных окраинах континентов). На поверхности такие зоны проявляются в виде цепи вулканов — например, Камчатка и Курильские острова, огненный пояс вокруг Тихого океана. Именно с таким глубинным рециклингом некогда органического вещества связывают образование части алмазов. Значительно глубже, по современным представлениям, протекает и грани-

ца существования жизни. Теперь ученые знают, что бактериальная жизнь бурлит на таких глубинах, на которых раньше считалась невозможной.

Казалось бы, в XX веке ученые получили бесспорные аргументы в пользу органической теории происхождения нефти. Из нее выделили многочисленные биомаркеры — остатки молекул органического вещества. Кроме того, выяснилось, что у нефтей есть оптическая активность, которую раньше считали свойством исключительно органических веществ. Спор, однако, не прекратился.

Некоторые группы ученых (П.Н.Кропоткин, Э.Б.Чекалюк, Р.Робинсон, Т.Голд и др.) продолжали настаивать на абиогенной модели. У них были свои аргументы. Один из самых важных — исследователи продемонстрировали, что из углекислого газа и воды при температуре и давлениях, соответствующих верхней мантии Земли (100 км и более), могут образовываться основные компоненты нефти. Кроме хорошо известного факта вулканической дегазации (выбросы глубинных газов вулканами), появилась теория холодной углеводородной дегазации Земли: П.Н.Кропоткин обнаружил признаки глубинных разгрузок из мантии не только горячих газов,



Что почитать о теории происхождения нефти:

Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ. М.: ГЕОС, 2002.

Генезис нефти и газа (А.Н.Дмитриевский, А.Э.Конторович, отв.ред.), М.: ГЕОС, 2003.

Карцев А.А., Лопатин Н.В., Соколов Б.А. и др. Торжество органической (осадочно-миграционной) теории нефтеобразования к концу XX века. «Геология нефти и газа», №3, 2001.

Родкин М.В. Рециклинг углерода в зонах субдукции и роль процессов рециклинга в образовании месторождений УВ в преддуговых и задуговых бассейнах. В кн.: Дегазация Земли и генезис углеводородных флюидов и месторождений. М.: ГЕОС, 2002.

Соколов Б.А. Новые идеи в геологии нефти и газа. Изд-во МГУ, 2001.

Доктор физико-математических наук

М.В.Родкин



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

но и более холодных углеводородов. Свидетельством холодной дегазации было то, что из осадочных пород в некоторых вулканических районах выносятся существенно больше природного газа, чем можно было предположить.

Кроме того, биогенная модель не объясняла многие важные факты нефтяной геологии, полученные эмпирическим путем: например, почему месторождения часто приурочены к зонам глубинных разломов, почему основные промышленные объемы нефти и газа сконцентрированы в немногочисленных гигантских месторождениях, а также почему отсутствует четкая связь между запасами и составом органического вещества в осадочных породах и составом и объемами содержащихся в них нефтей. Чтобы объяснить образование месторождения в рамках биологической концепции, довольно часто приходится предполагать, что углеводороды перетекали в горизонтальном направлении иногда на сотни километров (ближе просто нету потенциальных источников нефти). Конечно, такие направленные «перетоки» не очень правдоподобны, да и следов перемещения найти не удастся. Но самое главное, осталось непонятным, как из малоэнергоемких органических остатков образуются высокоэнергоемкие молекулы нефти. Сторонники биогенной модели утверждают, что такое превращение могло произойти за геологическое время под влиянием тепловой и механической энергии недр Земли. Но весь цикл такого превращения смоделировать по сей день никто не сумел — ни теоретически, ни экспериментально.

Сложилась патовая ситуация. После двух с половиной веков активного изучения проблемы, накопления огромного объема фактической информации — ни одна из «партий» не только не смогла переубедить своих оппонентов (это еще можно было бы объяснить упрямством и несовершенством человеческой природы),

но и не смогла ответить на некоторые важные вопросы. А ведь эти вопросы — ключевые для разработки и поиска месторождений нефти и газа. В результате поисковики сегодня опираются больше на опыт, местную специфику и интуицию, чем на научную теорию.

Факты с двойным дном

В XXI веке источник и процесс образования нефти вызывают еще более живой интерес, поскольку нефть (по крайней мере, в рамках классической биогенной модели), неумолимо заканчивается. Эту проблему активно обсуждают на специальных конференциях. Одни из последних прошли в Москве, в мае 2002-го и апреле 2003-го года, а ближайшая состоится в Калгари (Канада) в июне 2005 года. Однако насколько еще далеки противники друг от друга, понятно из названий статей в научных журналах. Так в 2001 году группа известных российских ученых опубликовала статью «Торжество органической (осадочно-миграционной) теории нефтеобразования к концу XX века», и в том же году в авторитетном англоязычном издании вышла статья «Забудем о биогенном происхождении нефти». Между этими крайними точками зрения существует множество промежуточных. Вот природа задала загадку!

Естественно, коль скоро проводятся конференции и публикуются статьи, значит у противников появляются новые аргументы. Прежде всего надо сказать, что некоторые факты, раньше считавшиеся доказательствами биогенной концепции, получили в последние годы также и другое объяснение. Например, ученые выяснили, что оптическая активность встречается и в небиологической материи: ее обнаружили в веществе некоторых метеоритов и теоретически показали, что она может встречаться у углеводородов, полученных небиогенным синтезом при высоких температурах и давлениях.

Один из самых неоспоримых аргу-

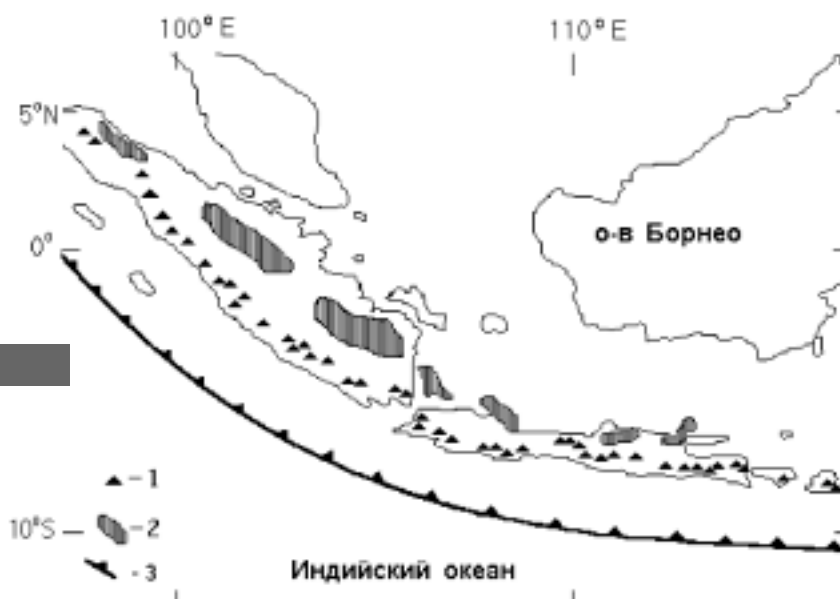
ментов — биомаркеры в нефти, которые приписывали остаткам биологического вещества. Этот факт и раньше объясняли по-иному — маркеры могли быть занесены из осадочных пород, содержащих органику. Но это традиционное возражение, а есть и новые. Так, ученые обнаружили, что в глубоких горизонтах земной коры углеводороды перерабатываются бактериями и именно поэтому в них находят биомаркеры. Кроме того, есть работы, в которых описан абиогенный синтез ряда соединений, ранее относимых к биомаркерам.

В последнее время появилось также другое объяснение относительных концентраций изотопного состава углеводородов. И прежде говорили, что возможен элементарный изотопный обмен углеводородов с вмещающими породами. А теперь есть новые данные, которые логично вписались в теорию глубинного рециклинга вещества земной коры. Действительно, вещество совершившее путешествие из земной коры в мантию и обратно, по своему изотопному составу близко к приповерхностному, но по источнику поступления уже сугубо мантийное. К примеру, в областях современной тектонической активности наблюдается соответствие изотопных характеристик метана и гелия. Как принято считать, изотопный состав гелия изменяется из-за того, что он обогащается глубинным мантийным гелием, поэтому логично предположить, что существуют также и глубинные источники метана. Следовательно, вполне возможно, что вклад глубинных соединений в формирование месторождений углеводородов гораздо больше, чем считалось.

Получается, что для большинства эмпирических положений нефтяной геологии сегодня существует двойной набор интерпретаций: хочешь — объясняй факты с точки зрения биогенной модели, хочешь — отдай предпочтение абиогенной.

Месторождения нефти и зоны субдукции в районе Индонезии:

- 1 — современные вулканы,
2 — месторождения,
3 — ось глубоководного желоба —
начало зоны субдукции**



«Тезис-антитезис-синтез»

Не будем претендовать на разрешение проблемы, просто попытаемся немного разобраться в основных аргументах сторонников столь разных научных позиций. Может быть, именно «со стороны» дискутировать на эту тему легче — ученый из смежной области не столь вовлечен в сложившуюся систему профессиональных мнений и отношений и не так поглощен деталями. Автор — именно такой сторонний человек, которому посчастливилось быть в числе организаторов и активных участников вышеупомянутых конференций и в неформальной обстановке обсуждать проблему с представителями различных направлений.

Начну с крайней позиции сторонника неорганической модели американца Дж.Кенни, который считает, что органическая модель вообще не имеет права на существование. При этом чисто по-человечески подкупает его горячая защита приоритета российско-украинской школы abiogenного синтеза нефти и саркастические выпады против ретроградов американской школы нефтяников, которых он в неформальной обстановке обычно называет «биочукчами». Его аргументы, если вкратце, таковы:

единственное термодинамически устойчивое в земной коре углеводородное соединение — метан;

термодинамические потенциалы компонентов нефти существенно выше как потенциала метана, так и потенциалов компонентов рассеянного органического вещества (предполагаемого сырья для образования углеводородов);

соответственно, спонтанное преобразование рассеянного органического вещества в какие-либо углеводородные соединения невозможно (за исключением метана, для которого такой процесс из термодинамических соображений вполне естествен).

Дж.Кенни отмечает также, что соотношение n-алканов и их изомеров

в нефтях не соответствует соотношению их термодинамических потенциалов при температурах и давлениях земной коры (то есть тому слою, где, по мнению сторонников биогенной модели, образуется нефть). Но при этом наблюдаемое в природных нефтях соотношение получится, если пересчитать потенциалы для давления и температуры верхней мантии Земли. Логичный вывод: n-алканы и их изомеры сформировались не в земной коре, а гораздо глубже — в верхней мантии. Напомним, что и теоретически, и экспериментально уже доказано: при «глубоких» давлениях и температурах спонтанное образование компонентов нефти возможно (Е.В.Чекалюк, В.Г.Кучеров, сам Дж.Кенни и др.).

Эти замечания встречают, однако, серьезные возражения. Начнем с положения о глубинном происхождении нефти, поскольку возражения по этому пункту менее принципиальны. Предположим (это довольно правдоподобно), что условия, необходимые для образования больших объемов нефти, то есть давление, температура, нужные концентрации исходных веществ и катализаторов, действительно имеют место на глубине более 100 км в мантии Земли. Но как попадает то, что образовалось там, в приповерхностные горизонты земной коры?

При низких температурах, соответствующих кровле земной коры, нефть может долго сохраняться как метастабильная фаза, но при более высоких температурах в верхней части мантии она будет достаточно быстро распадаться. Возникает вопрос: — могут ли сохраниться большие объемы протонефти при ее перемещении к земной поверхности? Или на поверхность поступят только

продукты распада — CO_2 , H_2O , CH_4 , а в породах останутся углистые включения и пленки? Во многом похожий процесс происходит при выносе из мантии термодинамически неравновесных алмазов. Но, как известно, весьма мало мантийных алмазов «выживает» после подъема, откуда же в таком случае взялись промышленные объемы нефти?

Есть еще более серьезное возражение. Доказательства Дж.Кенни и других ученых, что нефть не может образоваться в земной коре из органических остатков, не вполне убедительны. Они были бы правильными в рамках равновесной термодинамики. Часть этих аргументов приводили химики XIX века, чем подкрепляли неорганическую модель нефтегенеза Д.И.Менделеева. Но развитие во второй половине XX века физики и химии неравновесных процессов поколебали веру в универсальность равновесной термодинамики. Если исходить только из равновесной термодинамики, то тогда было бы невозможно зарождение жизни, не могла бы протекать реакция Белоусова—Жаботинского и многие другие хорошо известные неравновесные процессы.

На вопросы, неразрешимые с точки зрения равновесной термодинамики, очень трудно найти ответ (например, у современной науки по-прежнему нет общепринятой модели возникновения жизни). При этом, как правило, неравновесные процессы могут реализоваться в строго определенных специальных условиях. Остается непонятным, в какой мере условия в осадочных толщах Земли соответствовали тем, которые были необходимы для массового образования нефти. Тем не менее принципиальная возможность такого «по-



Основные зоны образования нефти и газа и палеозоны субдукции:
1 — предполагаемое положение зон субдукции 100 млн. лет назад,
2 — основные регионы газонефте-
образования, 3 — отдельные
высокопродуктивные
и тектонически активные
бассейны



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

падания» существует, и она достойна тщательного изучения. Попробуем сделать хотя бы первые шаги.

Основные особенности интересующего нас неравновесного процесса можно рассмотреть с самых общих позиций, и даже такой предварительный анализ уже приводит к важным и нетривиальным выводам. По аналогии с другими процессами, запрещенными равновесной термодинамикой, естественно предположить, что образование нефти из рассеянного органического вещества может идти по схеме проточного неравновесного реактора. В реакционный объем поступают вещество и энергия, а из него удаляются продукты реакции. При таком подходе многое видится совсем по-другому. Например, ясно, что простое существование пород, богатых рассеянным органическим веществом долго находившимся при повышенных температурах, — условие необходимое, но недостаточное, поскольку в этом случае из углеводородов образуется только метан. Чтобы пошел нужный нам процесс, в нефтематеринские толщи должны поступать потоки вещества и энергии, а из них должны быстро выноситься и где-то при более низких термодинамических параметрах накапливаться продукты — компоненты нефти. В земной коре интенсивный перенос вещества и энергии возможен только с помощью магмы или газожидкостных потоков веществ (флюидов). Магма не подходит — у нее очень высокая температура, при которой нефть тут же разложится. Остаются только потоки глубинного флюида, которые несут не только энергию, но и разнообразные глубинные компоненты, в частности углеводороды мантийного происхождения. Чем не проточный реактор?

Такая модель хорошо согласуется с хорошо известными эмпирически-

ми фактами: давно установлена связь между местами образования и накопления нефти и местами перемещения флюидов в земной коре. (Сходные выводы следуют из флюидодинамической модели нефтегенеза Б.А.Соколова. Правда там они — не плод теоретических соображений, а результат обобщения эмпирических данных по бассейнам активного образования и накопления нефти.)

С позиций неравновесного проточного реактора можно легко объяснить пробелы биологической модели образования нефти:

разобщенность в пространстве зон образований и скоплений нефти;

стадийность формирования нефти и расположение очагов образования и залежей у зон разломов;

связь месторождений с эпохами и районами активизации глубинного флюидного режима;

относительно слабая зависимость между составом и объемами нефтей в месторождениях и характеристиками вмещающих осадочных пород;

существование каналов подпитки залежей нефти и присутствие примесей мантийного вещества там, где идет интенсивное нефтеобразование.

Какие же из геотектонических структур больше всего похожи на проточный неравновесный реактор? Глубокие осадочные бассейны, там, где есть вертикальные потоки отжимаемых из осадков флюидов. Другой вариант — зоны, где одни блоки земной коры глубоко надвигаются на соседние, оставляя под собой огромные массы осадочных пород. Самые крупные зоны таких сдвигов — зоны субдукции, в которых океанические плиты вместе с осадками оказываются затянутами в мантию. Потоки флюидов несут энергию и разнообразные глубинные компоненты — проточный реактор обеспечен бесперебойной

работой. Если бы этих потоков не было, то образующиеся неравновесные углеводороды там же и распались бы с образованием метана, углекислого газа и графита.

Надо сказать, в последние годы геолого-геофизические исследования подтвердили, что зоны интенсивного образования нефти и газа совпадают с зонами глубинных надвигов и субдукции (современной или древней). Такое соответствие найдено в районах добычи на Южном Каспии, Северном Сахалине, Западной Камчатке. Интересно было бы расширить этот список и проверить, хорошо ли соблюдается данная закономерность в других районах.

Получается очень интересная вещь. Образование нефти исходно рассматривается как биогенный процесс в проточном неравновесном реакторе, но характерными чертами такого процесса становятся особенности, трактуемые обычно в рамках абиогенной модели нефтегенеза. Например, скопления нефти у зон разломов, наличие путей подпитки нефти, связь месторождений с зонами активизации глубинного (в частности, мантийного) флюидного режима — все это необходимые условия эффективного преобразования рассеянного органического вещества в нефтяные углеводороды. В рамках такой схемы большая часть строго биогенных или абиогенных объяснений теряют свою категоричность. Намечается сближение двух концепций, возможность их одновременной или взаимодополняющей разработки. Естественно предположить, что происходит (в разных условиях и в разных масштабах) и биогенное, и абиогенное нефтеобразование. Работает общий принцип: — в природе реализуется все, что не запрещено основными физическими законами. При этом почти трехсотлетняя дискуссия по проблеме оказывается почти иллюстрацией классической Гегелевской триады: «тезис — антитезис — синтез».

