

# НЕФТЬ ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ

Современные исследования указывают на небиогенное происхождение углеводородов

Владимир Кучеров, профессор, д. ф.-м. н.,  
Виталий Флид, профессор, д. х. н., МИТХТ им. М. В. Ломоносова

В течение более чем двухсотлетней истории добычи нефти и природного газа, проблема их происхождения вызвала горячие споры в научном сообществе, оставаясь предметом неослабевавшего интереса как химиков, так и геологов-нефтяников. Сегодня эта проблема перестала быть чисто научной: для того, чтобы представить сценарий энергетического развития нашей цивилизации в текущем столетии, необходимо объективно оценить запасы углеводородного сырья на Земле. Конечны ли запасы нефти и газа на нашей планете? Какой должна быть оптимальная стратегия разработки нефтегазовых ресурсов? Ответы на эти и многие другие вопросы невозможно получить без понимания природы механизмов происхождения углеводородов.

Данные о масштабах и скоростях оборачиваемости природных углеродных циклов весьма противоречивы и значительно варьируются в различных литературных источниках (рис.1). Тем не менее, не вызывает сомнений, что подвижные формы углерода (углерод, сосредоточенный в атмосфере, мировом океане, почве, ископаемых формах топлива) суммарно составляют менее 0,1 %, а практически все его запасы расположены в глубинных слоях Земли.

В мае 2008 года в США (Вашингтон, геофизическая лаборатория института Карнеги) состоялось международное

совещание, посвященное глобальным процессам, протекающим в глубинных слоях Земли с участием углерода (Deep Carbon Cycle). Это знаковое мероприятие, затрагивающее различные области знания (геология, физика, химия, биология, экология, математическое моделирование, экономика и др.), было организовано Фондом Альфреда Слона (Alfred Sloan Foundation) и призвано объединить усилия мирового научного сообщества для координации действий при изучении глубинного кругооборота углерода. Авторы настоящей статьи были приглашены на совещание, где выступили с докладами и представили результаты собственных исследований.

## Концепции формирования углеводородных запасов Земли

Существуют три альтернативные концепции, объясняющие происхождение нефтегазовых месторождений на нашей планете: биогенная, абиогенная и космическая.

Большинство сторонников **биогенной концепции** отстаивают осадочно-миграционную модель нефтегазообразования. Эта модель основана на представлении о том, что нефть, природный газ, асфальты, горючие сланцы, являясь генетически родственными образованиями, возникли из отмерших остатков живых организмов, которые

обитали на нашей планете в прошлые геологические эпохи, многие миллионы лет тому назад. В процессе погружения органического вещества, рассеянного в донных отложениях морей и озер, происходили его биохимические и химические превращения в высококонденсированные макромолекулы — кероген. Данный процесс получил название литогенеза. При созревании керогена происходит постепенное отделение от него углеводородных компонентов — «микронейфти». Это длительный и многостадийный процесс продолжительностью в десятки миллионов лет. Микронейфть поступает из нефтематеринских пород в породы-коллекторы во время первичной миграции. Во время вторичной миграции происходит концентрация и аккумуляция углеводородов в залежи. Благоприятные условия для развития основных фаз нефте- и газообразования возникают на глубине от 1,5 до 7,5 км.

Идеи плитной тектоники оказали значительное влияние на развитие концепции биогенного происхождения нефти и газа. Основное новшество заключалось в предположении о том, что углеводороды формируются в геодинамически напряженных зонах на стыке литосферных плит (субдукции и обдукции). Именно в зонах поддвига одной плиты под другую происходит накопление и погружение осадочных пород, переработка рассеянного в них органи-

ческого вещества в углеводороды. Источником энергии для этого процесса являются потоки глубинных флюидов, являющихся мощными теплоносителями. Глубинные флюиды обеспечивают также эффективное вытеснение и миграцию микро нефти из нефтематеринской породы.

Однако, уже в 70-е годы прошлого столетия стало понятно, что накопленная геологическая информация во многом противоречит основным положениям концепции биогенного происхождения нефти и газа. Вот лишь некоторые примеры:

- В Мексиканском заливе в США разрабатывается 20 сверхглубоких нефтегазовых месторождений. Мощные пласты этих гигантских месторождений находятся на глубинах 7300-10500 м. Только нефтяные запасы оцениваются здесь в  $2,4 \cdot 10^9$  куб. м, что составляет около 70 % всех геологических запасов нефти США. Эти месторождения расположены вне основной зоны нефтегазообразования.
- Геологические запасы нефти одного из крупнейших в мире месторожде-

ний Боливар-Прибрежное (Bolivar Coastal) в Венесуэле оцениваются в  $32 \cdot 10^{12}$  куб. м. Исходя из модели органического нефтеобразования, для концентрации такого объема нефти площадь нефтематеринских пород, при их средней мощности 1 км, должна соответствовать кругу диаметром 570 км. Однако, реальная средняя мощность нефтематеринских пород в известняках Ля-Луна (La Luna) составляет лишь 91 м. В этом случае размеры нефтегазифицирующей площади в 3 раза превысили бы площадь всей Венесуэлы.

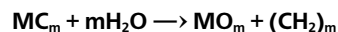
А где в таком случае источник биогенного вещества для других гигантских месторождений в этой стране? Где биогенный источник для месторождений Бразилии, Колумбии, Аргентины? А как объяснить в рамках биогенной теории нефтегазообразования докембрийского возраста на древнейших кристаллических щитах при полном отсутствии на их поверхности осадочных пород? Откуда появились залежи нефти и газа в метеоритных кратерах? Каково происхождение углеводородов различного состава, обнару-

женных в алмазах, мантийное происхождение которых не вызывает сомнений? Каков источник огромных, практически неисчерпаемых запасов газогидратов на нашей планете?

Концепция биогенного происхождения нефти и газа не может дать убедительные ответы на эти и многие другие вопросы.

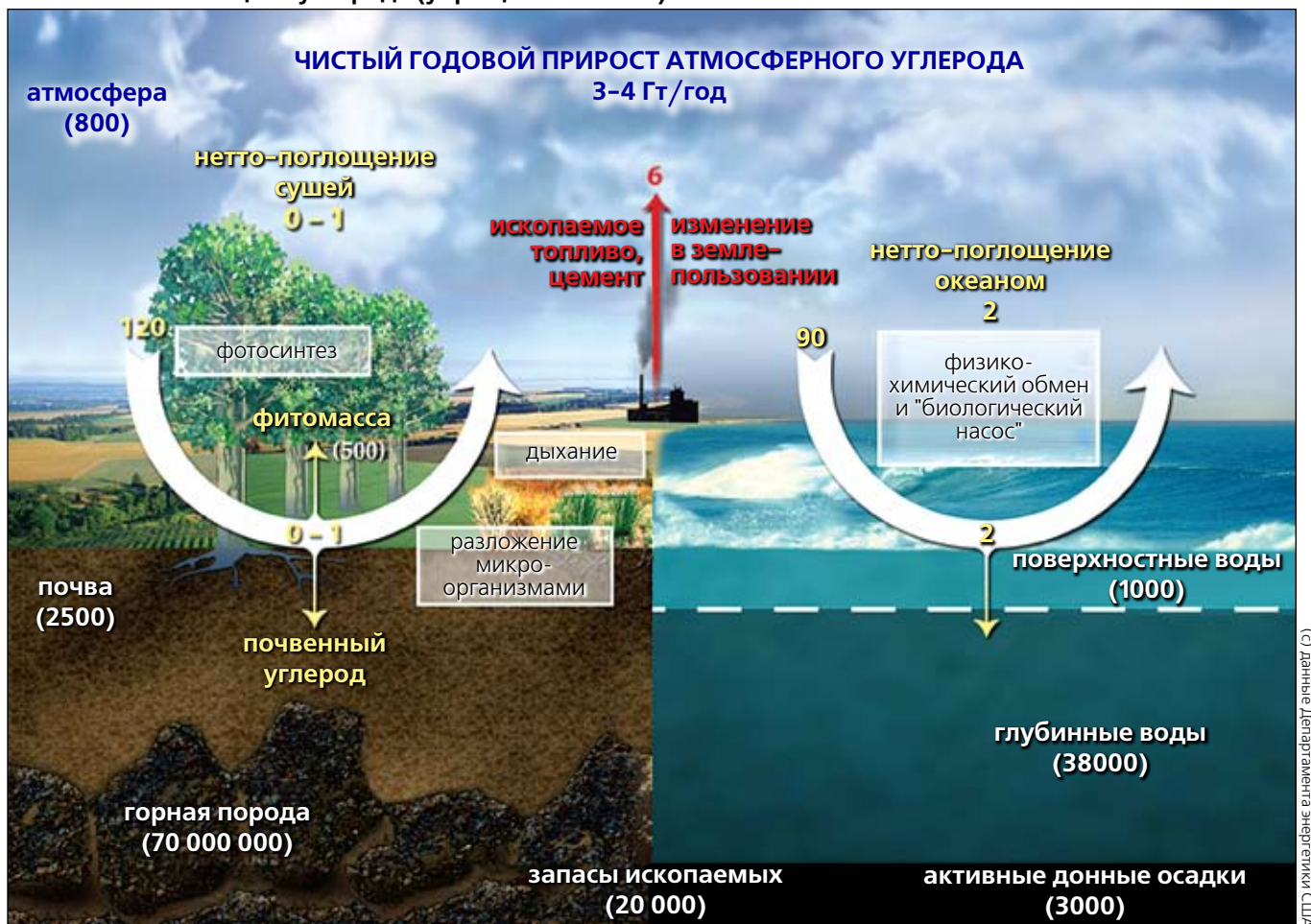
Большинство ответов могут быть получены в рамках концепции **абиогенного** глубинного происхождения нефти и газа, впервые высказанной в XIX веке А. Гумбольдом, Л. Гей-Люссаком, М. Бергто и А. Биассоном.

Выдающуюся роль в становлении этой концепции сыграл Д. И. Менделеев, который в 1877 году сформулировал известную гипотезу, в соответствии с которой нефть образуется на больших глубинах при высокой температуре в результате взаимодействия воды с карбидами металлов:



Согласно этой гипотезе, образовавшиеся в газообразном состоянии углеводороды

Рис 1. Глобальный цикл углерода (упрощенная схема)



Цифры в скобках — запасы аккумулированного углерода  
Красные и белые стрелки - Гт углерода в год

поступают в верхнюю холодную часть земной коры, где они конденсируются и накапливаются в пористых осадочных породах.

Действительно, в глубинных скважинах найдены карбиды железа, титана, хрома и ряда других элементов. Но крупных скоплений они не образуют, и поэтому, процесс генерирования природных углеводородов в огромных количествах гипотеза Д. И. Менделеева не объясняет.

Основные положения концепции абиогенного глубинного происхождения нефти и газа были сформулированы в прошлом веке рядом выдающихся ученых: Н. А. Кудрявцевым, П. Н. Кропоткиным, В. П. Порфирьевым, Г. Н. Доленко, В. А. Краюшкиным, И. И. Чебаненко и др. Она базируется на представлениях об образовании нефти и газа в мантийных очагах вследствие неорганического синтеза. Углеводородный флюид, представляющий собой смесь перегретого водяного пара и углеводородов, по глубинным разломам мигрирует из мантии Земли в земную кору и образует, как правило, многопластовые нефтегазовые месторождения (рис. 2). Первоначально состав нефтей всех залежей в разрезе одного месторождения должен быть одинаковым.

Наиболее химически активные непредельные соединения глубинного флюида — алкены и алкины — относительно быстро превращаются в предельные, циклические и ароматические соединения в соотношениях, соответствующих условиям залегания. Так возникает начальная дифференциация состава пластовой нефти по глубине залегания. В результате низкотемпературной деструкции нефти верхние горизонты обогащаются циклическими алканами, нижние — нормальными алканами. Плотность нефти с течением времени уменьшается, а ее газонасыщенность увеличивается. Нефтегазонасыщенность рассматривается как одно из проявлений природного процесса дега-

зации Земли, создавшего на ранних этапах ее развития гидросферу, атмосферу и биосферу.

**Космическая гипотеза** происхождения нефти предполагает возникновение углеводородных газов из атомов углерода и водорода, широко распространенных в космосе, в результате конденсации космического материала, которая имела место во время образования Земли. Действительно, современная модель образования мантии Земли путем аккреции вещества, на 40 % состоявшего из углистых хондритов типа керогена, позволяет делать такие выводы о генезисе углеводородов нефти.

Другой путь накопления органического вещества на Земле, выпадающего из космического пространства состоит в осаждении космической пыли, астероидов, метеоритов. В космосе обнаружены простейшие молекулы:  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$  и даже более сложные соединения типа формальдегида, формамида и цианацетилена. Последний, взаимодействуя с водой, может образовывать аминокислоты.

Недавние исследования состава метеоритов Murchison и Murchay показали, что они содержат около 5 % органических соединений, включая до 80 различных аминокислот, причем 10 из них обладают L-конфигурацией, присущей биогенным аминокислотам с энантиомерной чистотой, достигающей 90 %.

В метеоритах найдены и гидроксо-соединения — глицериновая кислота, глицерин. В космической пыли обнаружен ряд полиароматических углеводородов (пентацен, трибензокоронен, фуллерен) и даже компоненты нефтей: пристан и фитан.

Все три концепции хорошо аргументированы и имеют право на существование. Однако, как известно, критерием истины является эксперимент.

До недавнего времени основными аргументами в пользу концепции абиогенного глубинного происхождения нефти и газа служили геологические

данные, которые рассматривались лишь как косвенные доказательства. Вместе с тем, только прямые лабораторные исследования могут быть приняты во внимание как объективные и достоверные доказательства в пользу той или иной теории. Необходимы эксперименты, позволяющие ответить на следующие вопросы:

- Возможен ли абиогенный синтез углеводородных систем в условиях, сходных с мантийными.
- Если синтез возможен, то каким образом из глубинного флюида образуются различные по своему составу нефтегазовые системы.
- Каким образом происходит миграция глубинного флюида к поверхности.

## Всесильный эксперимент

Для получения достоверных экспериментальных результатов необходимо четко сформулировать задачу. Что же нам известно о составе и термобарических условиях верхней мантии нашей планеты?

Основными компонентами мантии Земли являются оксиды металлов и кремнезем. Кроме них в мантии содержится некоторое количество воды и углерода как в карбонатной (карбонаты металлов, углекислый газ), так и в элементарной формах (графит, алмаз). Компонентный состав пород верхней мантии приведен в табл. 1.

Вещество мантии представляет собой смесь растворов различных индивидуальных химических соединений, находящихся при одинаковом геостатическом давлении. При определенных условиях (изменение параметров состояния, перенасыщение) тот или иной компонент может выделяться в чистом виде (алмазы,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ).

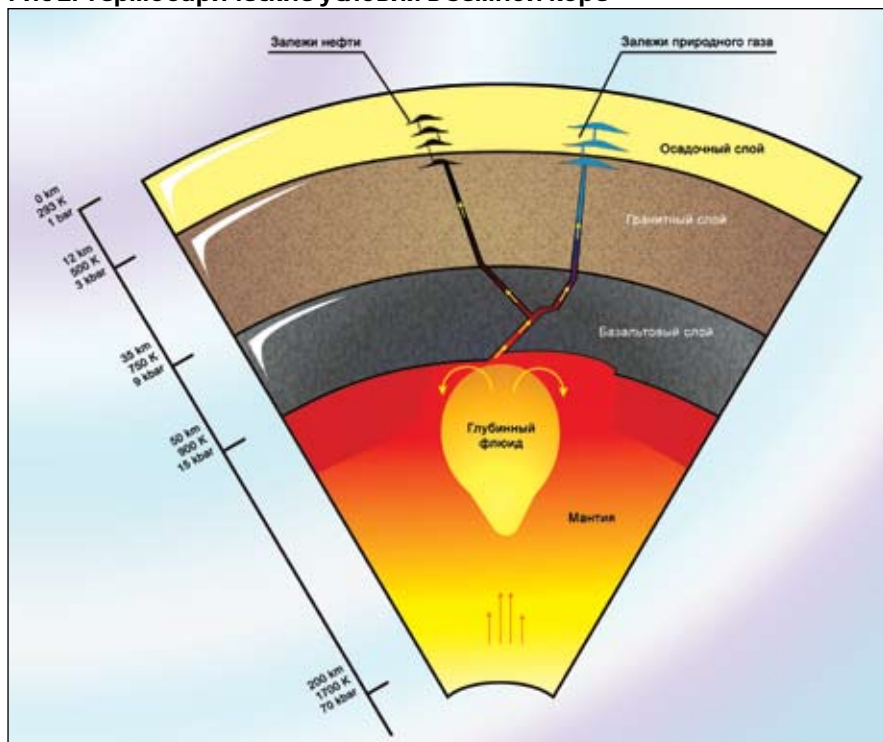
Для синтеза углеводородов в условиях верхней мантии Земли необходимы доноры углерода и водорода, а также благоприятная восстановительная среда. Донорами углерода могут служить диоксид углерода, графит, карбонаты (в частности, магнезит —  $MgCO_3$ ), а также карбиды некоторых металлов. Донорами водорода — вода (в сверхкритическом состоянии) и гидроксильные группы различных минералов (биотита, флогопита). Восстановительная среда может создаваться наличием в определенной области верхней мантии несвязанного железа или оксида железа (II) — вюстита ( $FeO$ ). Благоприятным условием для выделения вюстита является пониженное содержание кремнезема или повышенное содержание в мантии оксидов легких металлов, в первую очередь кальция и магния.

В общем, вопрос о том, является ли верхняя мантия окисленной или восста-

Таблица 1. Компонентный состав пород верхней мантии

Компоненты	Состав пород, изверженных из-под океанического дна, %	Состав пород, изверженных из-под континентальной коры, %
$SiO_2$	44,66	44,98
$TiO_2$	0,01	0,08
$Al_2O_3$	0,98	2,72
$FeO$	8,28	8,02
$MgO$	45,13	41,15
$CaO$	0,65	2,53
Прочие	0,29	0,52

Рис 2. Термобарические условия в земной коре



новленной остается открытым. О восстановленном характере мантийного вещества свидетельствуют расчеты равновесия газовых систем для мантийных условий. Результаты экспериментальных исследований образцов горных пород (табл. 1), изверженных из верхней мантии, подтверждают пониженное содержание кремнезема и наличие вюстита в некоторых областях мантии.

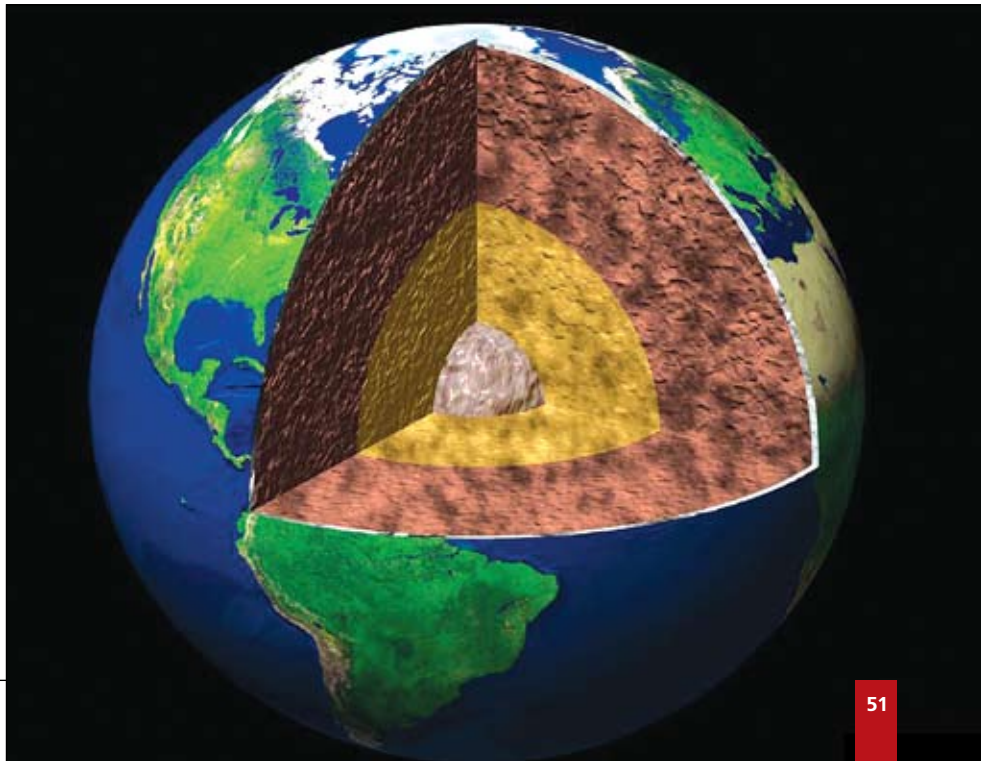
По различным данным, в мантии находится достаточное количество веществ доноров углерода и водорода, хотя оценки их содержания значительно расходятся. Но, даже исходя из нижнего предела содержания углерода в верхней мантии, равного 0,1 %, видно, что слой абиогенной нефти вокруг всей поверхности Земли мог бы составить 1 км, тогда как все разведанные ее запасы сформировали бы слой лишь в несколько миллиметров.

Таким образом, благоприятные условия для абиогенного синтеза углеводородов могут возникать на глубинах 50–250 км при температуре 500–2000 °С и давлении 20–120 кбар в основных и ультраосновных породах верхней мантии Земли с высоким содержанием вюстита при наличии достаточного количества веществ — доноров углерода и водорода.

Синтез углеводородов в мантийных условиях может, на наш взгляд, проходить следующим образом. Так как процессы восстановления  $\text{CO}_2$  или карбонатов сильно эндоэргоничны, их протекание требует достаточно жестких термобариче-

ских условий (рис. 2). Рассмотрим самый неблагоприятный с точки зрения термодинамики, но и наиболее вероятный вариант, когда такими молекулами являются  $\text{CO}_2$  (карбонаты) и вода, присутствующие как в литосфере, так и в мантии Земли. Не вызывает сомнений наличие там железа в недоокисленном состоянии ( $\text{Fe}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), которое необходимо для образования водорода. При наличии водорода происходит восстановление  $\text{CO}_2$  (карбонатов) по различным маршрутам.

Рис 3. Планета Земля



Их направление зависит, прежде всего, от термобарических условий и наличия минералов — потенциальных катализаторов. В результате первичных процессов формируются молекулы  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ , графит и, возможно,  $\text{CH}_4$ .

Все указанные реакции могут протекать как термически, так и каталитически. Не стоит также отвергать возможность присутствия другого источника водорода. В соответствии с «гидридной теорией» ядро Земли состоит не из железа, а из его гидрида и от ядра постоянно восходят потоки водорода (рис.3). Это во многом упрощает наш анализ, так как появляется неисчерпаемый источник водорода, способствующий решению термодинамических проблем.

Таким образом, при наличии благоприятных условий в мантии Земли формируется устойчивая флюидная фаза, которая по мере снижения значений параметров состояния (струйная миграция к поверхности) и, в зависимости от скорости охлаждения, образует ту или иную углеводородную систему.

## Немного истории

Первую попытку осуществить неорганический синтез углеводородов из минералов при мантийных условиях предпринял в 1969 году Э. Б. Чекалюк. Смесь минералов (кварц, кальцит, вюстит) и воды подвергалась давлению до 70 кбар при температуре 1100–1700 °С. В полученных продуктах реакции были обнаружены углеводороды — до  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ . Однако, как сообщил сам автор, эти эксперименты не были воспроизводимыми, так как происходило нарушение герметичности, и в зону реакции поступал воздух. ▶

Таблица 2. Результаты хроматографического анализа

Углеводород	Содержание, мольн. %		
	50 кбар, 1473 К	30 кбар, 1153 К	«Белый Тигр»
Метан (СН <sub>4</sub> )	57,3	89,6	94,0
Этан (С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub> )	5,9	2,8	0,57
Этилен (С <sub>2</sub> Н <sub>4</sub> )	5,9	2,5	0,55
Пропан (С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub> )	3,6	0,9	1,77
Пропен (С <sub>3</sub> Н <sub>6</sub> )	8,7	3,2	0,13
Изобутан (i-С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub> )	0,2	0,1	0,9
Бутан (n-С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub> )	2,1	0,3	0,9
Изопентаны (i-С <sub>5</sub> Н <sub>12</sub> )	0,4	0,15	0,4
Пентан (n-С <sub>5</sub> Н <sub>12</sub> )	1,2	0,25	0,3
Изогексаны (i-С <sub>6</sub> Н <sub>14</sub> )	0,12	0,01	0,26
Гексан (n-С <sub>6</sub> Н <sub>14</sub> )	0,6	0,1	0,27
Прочие	13,98	0,09	0

В 1999 году группа китайских исследователей опубликовала работу по изучению превращений природных минералов (сидерит, исландский шпат, биотит, серпентин, оливин) при давлении около 15 кбар в температурном диапазоне 800–1500 °С. В этих экспериментах наблюдали образование метана, этана и этена. Тем не менее, можно говорить лишь о качественном характере полученных результатов, так как отсутствовал контроль за температурой и давлением.

Интересные результаты представлены Федоровым с соавторами в 1992 году. При изучении побочных процессов, сопровождающих синтез алмазов, навески графита и воды подвергались воздействию давлений 25 и 40 кбар при температурах 1300 и 1640 °С соответственно с использованием аппарата «разрезная сфера». Скорость охлаждения продуктов варьировалась от быстрого (200 К/с, закалка) до медленного (охлаждение в течение 1 часа). Газохроматографический анализ подтвердил наличие СН<sub>4</sub>, С<sub>2</sub>Н<sub>2</sub>, С<sub>2</sub>Н<sub>4</sub> и С<sub>3</sub>Н<sub>8</sub>. При медленном охлаждении в продуктах наблюдались тяжелые углеводороды, которых не было в закаленных образцах.

## Направленный синтез

Первые воспроизводимые эксперименты по направленному синтезу углеводородов в мантийных условиях проведены группой ученых под руководством одного из авторов этой статьи В. Г. Кучерова в 1999–2002 годах. В нескольких сериях экспериментов использовалась камера высокого давления типа КОНАК, позволяющая достигать давлений до 50 кбар и температур до 1250 °С при полной

герметичности и контроле параметров процессов на всех этапах. Исходными веществами для синтеза углеводородов служили FeO, CaCO<sub>3</sub> и вода. Ампула из платиновой фольги с навесками исходных веществ помещалась в камеру высокого давления, подвергалась сжатию, после чего нагревалась до заданной температуры. После экспозиции в 1 час следовало снижение температуры до 200–250 °С со скоростью порядка нескольких сотен градусов в секунду, а затем — до комнатной температуры с более медленной скоростью. Давление снижали до атмосферного и извлекали ампулу из камеры. Состав продуктов реакции исследовали методами масс-спектропии, газовой хроматографии и порошковой дифрактометрии.

Результаты хроматографического анализа продуктов при различных условиях эксперимента представлены в табл. 2. Здесь же для сравнения приведен состав углеводородных включений в гранитоидах месторождения «Белый Тигр» (Вьетнам). Сопоставление данных указывает на качественные аналогии составов представленных углеводородных смесей.

Группа американских исследователей (Скотт и соавторы) использовала аппаратуру высокого давления, позволяющую реализовать метод Раман-спектроскопии (Raman spectroscopy) в камере с алмазными наковальнями при лазерном нагреве. Этот метод позволяет анализировать продукты реакции in-situ при давлениях до 70 кбар и температурах до 1500 °С. Исходными веществами, как и в вышеописанных экспериментах, служили CaCO<sub>3</sub>, FeO и вода. Результаты экспериментов подтвердили возможность abiогенного синтеза метана в мантийных условиях.

Индивидуальное поведение метана в широком диапазоне термобарических параметров (давление 100–500 кбар, температура 1730–2730 °С), было исследовано с использованием алмазных наковален. Продукты диссоциации метана — алмаз и молекулярный водород были зафиксированы в центре нагреваемого лазером пятна, а продукты синтеза — различные (неидентифицированные) углеводороды — были обнаружены в менее прогретых зонах вокруг пятна.

Японские исследователи (Хираи и сотр.), используя сходную с американской аппаратуру, показали, что превращения метана в более высокомолекулярные соединения при температурах менее 800 °С невозможны ни при каких давлениях, вплоть до 860 кбар. В области температур 1500–2200 °С и давлений от 100 кбар (что соответствует глубине 250–350 км) из метана образуется этан и более тяжелые (неидентифицированные) углеводороды.

Сравнение представленных результатов однозначно подтверждает возможность abiогенного получения углеводородов в условиях верхней мантии Земли. Однако наряду с качественными аналогиями существуют значительные различия. Так, при одинаковых исходных веществах и сходных термобарических параметрах были получены различные углеводороды: в одном случае — сложная углеводородная смесь, в другом — метан.

Эти различия могут иметь чисто методический характер. Например, в экспериментах Скотта в связи с очень малым объемом измерительной ячейки количество углеводородов С<sub>2</sub>+ было слишком незначительным для надежного анализа. Однако, более вероятным представляется другое объяснение. По нашему мнению, во всех случаях при определенных термобарических условиях (давление 30–50 кбар, температура 800–1300 °С) из неорганических веществ образуется метан. Более тяжелые углеводороды формируются при последующем охлаждении (закалке). В экспериментах Скотта и др. измерения проводились in-situ и закалка не применялась. Но так как, по данным Хираи и др., при температурах ниже 800 °С высокомолекулярные соединения из метана не образуются, можно предположить каталитический путь формирования углеводородов С<sub>2</sub>+

## Природные катализаторы

В земной коре имеется все необходимое для формирования гетерогенных катализаторов — активные компоненты (металлы, оксиды металлов, соли, интерметаллиды, различные кислотные и основные центры), носители (в основном, оксиды кремния и алюминия, углерод). Широ-

кий диапазон термобарических условий предопределяет наличие «каталитических зон», в которых реализуется все многообразие реакций.

Каталитическая зона Земли может быть представлена как канал в сплошной породе, через который к поверхности под давлением в определенном соотношении поступает смесь газов (или флюидов) — рис. 4. Стенки канала состоят из минералов, обладающих каталитическими свойствами. Состав продуктов зависит от типа катализатора, соотношения реагентов и их фазового состояния, времени контакта, термобарических условий. По мере движения реагентов и полупродуктов к поверхности происходит инициирование новых реакций, в которых образуется все больше оксигенатов. Если на стенках канала отсутствуют каталитически активные частицы или один из реагентов находится в большом избытке, к поверхности Земли поступают в неизменном виде первичные продукты — водород, метан,  $\text{CO}_2$  и прочие газы.

Среди возможных вторичных процессов, протекающих в земной коре, прежде всего необходимо обсудить реакцию Фишера-Тропша, которую можно рассматривать как восстановительную олигомеризацию  $\text{CO}$  ( $\text{CO}_2$ ) на гетерогенном катализаторе. Конечными продуктами реакции являются алканы, алкены и кислородсодержащие соединения — спирты, альдегиды, кетоны, кислоты и эфиры. При олигомеризации формируется более или менее сложная смесь продуктов. Их молекулярно-массовое распределение хорошо описывается простыми уравнениями, учитывающими вероятности ста-

дий роста и обрыва цепи. В зависимости от условий реакции и выбранного катализатора набор продуктов варьируется. В большинстве случаев эти процессы имеют благоприятную термодинамику и могут быть осуществлены при температурах 100–800 °C и давлениях 100–300 атм.

В земной коре (на глубинах 3–15 км) со всей очевидностью присутствуют зоны, соответствующие условиям реакции Фишера-Тропша. Модельные эксперименты, проведенные с использованием различных железосодержащих минералов, свидетельствуют об образовании продуктов (преимущественно углеводородов), состав которых по молекулярно-массовому распределению соответствует уравнению Андерсена-Шульца-Флори и коррелирует с составом нефти-сырца.

Можно предположить и другие реакционные цепочки, протекающие в земной коре. Так, при взаимодействии карбидов железа, никеля, кальция и магния с водой образуются метан и ацетилен. Каталитическая гидратация ацетилена приводит к ацетальдегиду. Конденсация альдегидов, катализируемая кислотами и основаниями Льюиса, дает большой набор органических соединений, из которых, в свою очередь, могут быть получены высокомолекулярные продукты, арены, углеводы, спирты и т. д.

Интересные результаты были получены при исследовании каталитических свойств Карельских шунгитов — природных углеродсодержащих материалов, возраст которых оценивается в 1,5–2 млрд лет. Шунгиты содержат от 20 до 80 % углерода, оксиды алюминия и кремния, а также многие металлы в виде силикатов и оксидов. Скрининг этого материала в

качестве катализатора без каких-либо добавок показал, что он проявляет активность в реакциях дегидрирования углеводородов, восстановительной дегидратации спиртов, реакции Фишера-Тропша и др. Конечно, активность и селективность шунгитов значительно ниже, чем в случае специально разработанных катализаторов, но они могут служить хорошей моделью для оценивания роли каталитического влияния в различных условиях.

Каталитическая химия за последние десятилетия сделала огромный шаг вперед. Человечество может осуществлять тысячи реакций с высокими выходами и в мягких условиях. Но каталитический реактор под названием Земля работает по своим законам. Если человек преследует конкретные цели при разработке оптимального катализатора, то в природе реализуется все многообразие процессов, и каждый из них весьма далек от оптимума. Их скорости могут варьироваться в очень широком диапазоне, но в любом случае химическая реакция протекает значительно быстрее, чем массоперенос продуктов к поверхности Земли. Именно он определяет продолжительность глобальных природных циклов, в том числе углеродных.

Возможно, через какое-то время человек научится воздействовать на скорость протекания глобальных углеродных циклов, в том числе, с целью получения углеводородного сырья. Но такое воздействие неизбежно повлечет изменение скорости других природных циклов, что приведет к непредсказуемым последствиям. Эта система напоминает устройство механических часов, где каждая шестеренка связана с другими, и изменение скорости ее движения сразу же окажет влияние на всю систему. Каталитические процессы в земной коре весьма вероятны. Воздействие на них требует тщательного изучения большого количества модельных объектов, установления внутренних связей между ними, исследования систем сопряжения, балансов реакций и разработки методов, позволяющих контролировать такие реакции in-situ.

Без сомнения, проблема происхождения нефти далека от своего окончательного решения. Необходимо провести огромное количество разноплановых экспериментальных и теоретических исследований. Но главное — становится понятен вектор некоторых направлений таких исследований как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения. Очень важно, что значимость этой глобальной проблемы начинает пониматься не только научное, но и мировое бизнес-сообщество. Российская наука пока занимает в этом направлении лидирующие позиции, и остается надеяться, что они будут сохранены в будущем. ■

Рис 4. Каталитические зоны Земли

