

А. А. Озол<sup>1</sup>, А.К. Назипов<sup>2</sup>, И.Н. Плотникова<sup>2</sup>, Ф.М. Хайретдинов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ЦНИИгеолнеруд, <sup>2</sup>Министерство экологии и природных ресурсов РТ, Казань  
root@geokzn.kazan.su; geocentr@bancorp.ru

## ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЛУБИННОГО НЕФТЕГАЗООБРАЗОВАНИЯ В ПЛАТФОРМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

*“Кончается не нефть, а идеи, исходя из которых ее ищут”  
(Е.А. Козловский)*

В статье сделана попытка по-новому подойти с позиций тектоники плит к решению проблемы глубинного нефтегазообразования в платформенных условиях. Выдвинуто и обосновано положение о существовании причинно-следственных связей между глобальным процессом серпентинизации перидотитов, происходившей в результате окисления флюидов водородно-углеводородного состава, и глубинным нефтегазообразованием в платформенных условиях.

Традиционный подход к прогнозу месторождений нефти и газа в настоящее время во многом себя исчерпал. Сокращение фонда месторождений углеводородного сырья, залегающих в антиклинальных структурах, при возрастающей роли месторождений, приуроченных к неантиклинальным ловушкам (аллювиально-делювиальным, баровым и др.), расположенным, в частности, на склонах крупных сводовых поднятий, под тектоническими экранами и т.д., не могло не обусловить снижение эффективности геолого-поисковых работ. Это обстоятельство потребовало нового подхода к поискам залежей углеводородного сырья, который стал возможным благодаря широкому применению на территории Волго-Уральской нефтегазоносной провинции геофизических, геохимических и термометрических исследований в сочетании с бурением глубоких и сверхглубоких скважин. Их результаты позволили существенно изменить сложившиеся представления о фундаменте Русской платформы и наметить новые пути решения проблемы происхождения нефти и газа. Как подчеркивает Р.Х. Муслимов (2000), “познание фундамента - ключ к поиску нефти в осадочном чехле”. Исходя из этого, была разработана геодинамическая модель глубинного нефтегазообразования в платформенных условиях, демонстрирующая важную (нередко завуалированную и труднораспознаваемую) роль глубинных процессов, возникающих в ходе развития Земли и обуславливающих движение энергии и вещества от ее внутренних частей к внешним. С геодинамической тесно связана геохимическая модель, раскрывающая закономерности миграции, рассеяния и концентрации флюидов, содержащих углеводороды, источники и пути их поступления, вплоть до образования в местах аккумуляции промышленных месторождений нефти и газа.

Геодинамическая и геохимическая модели месторождений нефти и газа являются базовыми при создании генетической модели, направленной на выявления функциональной зависимости между причиной (нефтегазогенерирующими процессами) и следствием (месторождением и его признаками). Разработка функциональной модели процессов нефтегазообразования, которая, составляя в сочетании со структурной моделью осадочно-породного бассейна и техногенной моделью геологоразведочного процесса единое целое (Нестеров и др., 1984), позво-

ляет вплотную подойти с позиции системного анализа к созданию адекватных моделей сложных нефтегазоносных систем, а с их помощью – к принятию оптимальных решений при проведении нефтегазопроисковых работ.

При создании геодинамической и геохимической моделей глубинного нефтегазообразования в качестве основополагающей использовалась мобилистская концепция тектоники плит, которая в свое время обусловила крутой поворот в науках о Земле, позволив по-новому подойти к прогнозу месторождений полезных ископаемых. Концепция тектоники литосферных плит, объединив идеи А.В. Вегенера о дрейфе континентов с гипотезой Г. Хесса о конвективных течениях в мантии и спрединге океанического дна, стала наилучшей моделью тектонических процессов, происходивших в литосфере в течение фанерозоя (Пейве, 1981), хотя и она потребовала известных поправок, учитывающих глобальную структурную расчлененность литосферы и иерархическую соподчиненность конвективных течений. В основу концепции плитной тектоники положено представление о первичной расчлененности верхней мантии и земной коры с разделением на астеносферу и литосферу, которая в свою очередь по вертикали разделяется границей Мохоровичича на утрафитовый слой верхней мантии и земную кору.

Расчлененность мантии и перепады в температуре обеспечивают, в связи с присутствием в астеносфере частично расплавленных горных пород, возможность и неизбежность проявления в ней конвективных течений, обуславливающих мобильность литосферы, состоящей из ряда плит, ограниченных сейсмоактивными поясами, в пределах которых высвобождается большая часть генерируемой на глубине энергии. Сами плиты, представляя собой подвижную субстанцию, обладающую значительной внутренней энергией, способны создавать, реагируя на приложение внешних сил, сложные внутриплитные тектонические структуры (Леонов, 1997). Движение плит сопровождается их раздвиганием, поглощением или скольжением вдоль трансформных разломов. При этом в зонах раздвигания и поглощения плит формируются тектонические структуры, имеющие кору океанического и континентального типов.

Наряду с движением литосферных плит, во время крупных тектонических фаз наблюдаются дифференцирован-

ные перемещения, главным образом по разделу Мохорвичича, внутрилитосферных мантийных и коровых пластин, которые сопровождаются их деструкцией и растяжением в одном месте, скупиванием в другом (Пейве, 1981). В зонах деструкции и растяжения коры возникают мантийные неоднородности, в связи с которыми развивается гипербазитовый и базальтовый магматизм, в зонах скупивания – коровые неоднородности, в связи с которыми развивается гранитоидный и андезитовый магматизм.

Движущей силой, вызывающей перемещение литосферных плит и внутрилитосферных пластин, является сложная, многоярусная и разноранговая конвективная система мантии, в которой восходящие и нисходящие течения, компенсируя друг друга, охватывают либо всю мантию в целом, вызывая в итоге дезинтеграцию суперконтинентов (если под ними аккумулируются избыточная тепловая энергия), либо только нижнюю или верхнюю мантию. Конвективные течения, охватывающие верхнюю мантию (под океанами) обуславливают проявление взаимосвязанных процессов спрединга и субдукции. Внутри подобных конвективных систем в зонах повышенного теплового потока, кроме того, возможно функционирование мелких конвективных систем (Гончаров, 1999), в которых тектонические течения, охватывающие астеносферу, приводят к растяжению или сжатию внутрилитосферных пластин и отдельных блоков земной коры.

Согласно концепции плитной тектоники в ее усовершенствованном варианте, учитывающим глобальную тектоническую расслоенность литосферы, на раздвигаемых окраинах литосферных плит и внутрилитосферных пластин с восходящим конвективным потоком поднимается мантийное вещество, формирующее океаническую кору. Доминирующее положение в ее строении занимают серпентинизированные гипербазиты. При функционировании конвективных течений в мантии под океанами гипербазиты вместе с перекрывающими их океаническими базальтами, перемещаясь в горизонтальном направлении в обе стороны от срединно-океанических хребтов, постепенно покрываются океаническими осадками. По мере удаления от оси спрединга мощность последних все более и более возрастает. Судя по скорости прохождения сейсмических волн, равной 6,7 км/с, серпентинизацией охвачено около 70 % объема горных пород, слагающих в составе океанической коры ее гипербазитовый слой, при содержании воды в серпентинитах около 25 % по объему. По мнению Г. Хесса (1974), вода, расходуемая на серпентинизацию гипербазитов, поступала в восходящем флюидном потоке мантийной конвективной системы в количестве, составляющем  $0,4 \times 10^9 \text{ м}^3$  в год.

На поглощаемых окраинах литосферных плит и внутрилитосферных пластин в нисходящем конвективном потоке серпентинизированные гипербазиты испытывают дегидратацию. В конечном счете океаническая кора на активных окраинах континентов, в областях их столкновения “припаивается” к континентам. Содержащаяся в серпентинизированных гипербазитах вода высвобождается, пополняя ее запасы в океанах и морях, идет на формирование гидротермальных систем, расходуется при метасоматических изменениях горных пород, участвует в процессах гидротермального рудообразования и т.д. Органическое вещество, содержащееся в осадках, в тер-

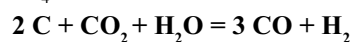
модинамических условиях зоны Заварицкого-Беньофа преобразуется в углеводороды, идущие на формирование залежей, как это имело место в Персидском заливе или на юге Прикаспийской впадины.

Серпентинизацией в той или иной мере охвачены все породы ультрамафитового слоя верхней части мантии и нижней части не только океанической, но и континентальной коры, особенно при ее тектоническом утонении (Пейве, 1981). Серпентинизация перидотитов, происходящая на глубинах с температурой, не превышающей 500 – 550 °С, сопровождается изменением физических свойств пород. Уменьшается их плотность (с 3,2 до 2,6 г/см<sup>3</sup>) и скорость прохождения сейсмических волн, но увеличивается пластичность пород, что способствует – даже при небольших напряжениях – возникновению тектонических течений, приводивших к срыву и перемещению внутрилитосферных пластин.

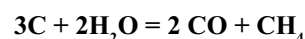
Одновременно с изменением физических свойств перидотитов при их серпентинизации, проявляющейся прежде всего в гидратации высокомагнезиальных силикатов (оливина, пироксена), меняется макро- и микроэлементный состав породы. В частности, понижается отношение Mg/SiO<sub>2</sub>, содержание в перидотитах H<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>, но повышается содержание CO<sub>2</sub> и летучих соединений бора (с 1–20 г/т до 100 – 200, иногда 500 – 540 и даже 1000 – 1250 г/т в серпентинитах). Широкое рассеяние бора в серпентинитах предопределяет резкое падение его концентрации на раздвигаемых окраинах плит, особенно во внутриконтинентальных рифтах, где содержание бора в гидротермальных растворах не превышает 7,8 – 12,2 мг/кг (против 600 – 900 мг/кг на поглощаемых окраинах), что делает невозможным образование в пределах названных структур его месторождений (Озол, 1983).

В связи с большими масштабами серпентинизации и ее важной ролью в геологических процессах с особой остротой встает вопрос о механизме гидратации высокомагнезиальных силикатов, слагающих гипербазиты, который, несмотря на его кажущуюся очевидность, долгое время оставался предметом широкой дискуссии. В качестве основного фактора, вызывающего серпентинизацию, как само собой разумеющееся, чаще всего рассматриваются газовой-гидротермальные растворы, формирующиеся при дегазации мантии. Однако представление о высвобождении в процессе дегазации мантии большого количества воды, идущей на серпентинизацию гипербазитов, находится в противоречии с выводами А.Н. Заварицкого (1928) и др. о сильно восстановительной обстановке нахождения газовой-флюидных растворов верхней мантии.

В составе глубинных пород, в частности перидотитов, углерод в условиях восстановительного режима присутствует в самородном состоянии в виде графита или алмаза. В условиях окислительного режима он переходит в угарный или углекислый газы. Дальнейшее взаимодействие углерода с флюидами протекает с образованием H<sub>2</sub> или CH<sub>4</sub>:



Z<sup>0</sup> при 1300 °K = -25,7, при 1000 °K = -2,9, при 298 °K = +50,6 ккал,



Z<sup>0</sup> при 1300 °K = -11,6; при 1000 °K = +1, при 298 °K = +31 ккал.

При этом водный компонент флюидов вытесняется водородом или метаном (Маракушев, 1979).

Взаимодействие углерода с  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , происходящее с увеличением числа газовых молекул, характеризуется большими объемными эффектами, определяющими влияние на них давления, в связи с чем повышение температуры и давления действует разнонаправленно. В условиях высокой температуры и низкого давления в составе флюидов доминирующее положение занимают  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ . Такие условия обычно реализуются в зонах спрединга в процессе рифтогенеза, при котором высокие температуры мантийной магмы сочетаются с падением давления, возникающем при раздвигании литосферных блоков.

Приведенные расчеты и выводы согласуются с представлениями П.Н. Кропоткина (1985) и др., что во флюидно-газовой фазе верхней мантии присутствует огромное количество водорода и углеводородов. Их восходящая миграция обнаружена в глубинных разломах фундамента докембрийских платформ и на дне океанов. Присутствие водорода и/или углеводородов давно известно на Балтийском щите в Хибинском и Ловозерском щелочных массивах, на Канадском щите в районе озер Верхнее и Гурон, в Австралии на руднике Кальгурли и п-ве Йорк, на Сибирской платформе в Непском своде. Приток водорода и метана в ассоциации с гелием наблюдается в рифтовой зоне Восточно-Тихоокеанского поднятия, метана в ассоциации с этаном и пропаном - вдоль глубинного разлома, отделяющего хребет Джамайка от желоба Кайман в Карибском море. Поэтому не случайно, что в осадочных бассейнах, тяготеющих к краям литосферных плит, ограниченных подвижными поясами на рифтогенном или орогенном этапах их развития, сосредоточено большинство (от 70 до 90 %) ресурсов нефти и газа.

Вместе с угарным и углекислым газами, водородом, углеводородами, гелием (с высоким содержанием  $^3\text{He}$ ) и радоном, из верхней мантии по глубинным разломам поступают ртуть, молибден и другие металлы. Составляя лишь небольшую долю в общей массе глубинных флюидов, эти металлы играют важную роль как индикаторы глубинного происхождения минерального вещества.

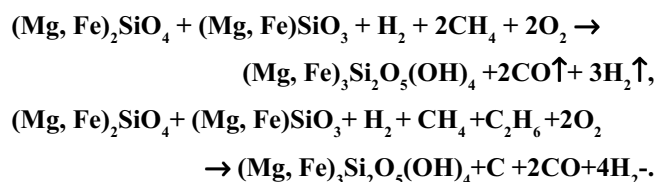
Поскольку гипербазитовый магматизм, связанный с верхней мантией, имеет глубинный подкорковый характер, есть все основания полагать, что сопровождающие его первично восстановленные флюиды отличаются очень низким содержанием  $\text{H}_2\text{O}$  (Маракушев, 1979). О составе газовой-флюидных растворов верхней мантии можно судить по составу газов, закупоренных в закрытых порах пород и минералов. Содержание водорода, "замурованного" в гранатовых перидотитах из кимберлитовых трубок, являющихся мантийными образованиями, формирующимися на больших глубинах, составляет, по данным Б.Г. Лутца и др. (1976),  $0,42 \text{ см}^3/\text{кг}$ , достигая в их катаклазированных порфиридных разностях  $4,6 \text{ см}^3/\text{кг}$ , метана –  $0,0078 \text{ см}^3/\text{кг}$ , в порфиридных разностях –  $0,45 \text{ см}^3/\text{кг}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$  – от  $0,00005$  до  $0,0009$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$  – до  $0,0001 \text{ см}^3/\text{кг}$ . В альпинотивных гипербазитах Камчатско-Курильской гряды, формирующихся на меньших глубинах, содержание  $\text{H}_2$  примерно такое же, но содержание метана значительно выше – более  $1 \text{ см}^3/\text{кг}$ . Отсюда видно, что газовой-флюидные растворы верхней мантии на глубинах свыше 70 км имеют существенно водородный состав, с

небольшой примесью метана, но вверх по разрезу по мере приближения к границе Мохоровичича их состав меняется до водородно-метанового. В отличие от  $\text{H}_2$  и  $\text{CH}_4$ , присутствующая в гипербазитах вода в количестве  $0,02 - 1,02 \text{ см}^3/\text{кг}$  не отражает ее реального содержания в верхней мантии, так как она связана с более поздними водо-содержащими минералами.

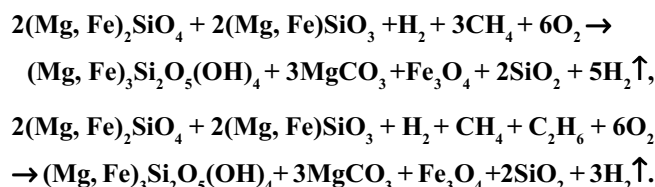
По данным Л.В. Агафонова и др. (1976), содержание  $\text{H}_2$  в гипербазитах достигает  $0,01 - 8,32 \text{ см}^3/\text{кг}$ , метана  $3,85 - 7,90 \text{ см}^3/\text{кг}$ . Особый интерес представляют сведения о составе газов, "замурованных" в массивах агпаитовых щелочных пород, также представляющих мантийные образования. В составе газов, присутствующих в них в количестве до  $200 \text{ см}^3/\text{кг}$  в ассоциации с битумоидами, преобладающим компонентом является  $\text{CH}_4$  (70 – 90 %) в меньшем количестве присутствует  $\text{H}_2$ ,  $\text{He}$ , а также  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$  и другие углеводороды (Петерсилье & Каржавин, 1971). Весьма показательным, что битумоиды из магматических, в том числе ультраосновных щелочных пород характеризуются, по данным Э.М. Галимова (1988), тем же изотопным составом, что и битумоиды из осадочных пород (в обоих случаях величина  $\delta^{13}\text{C}$  от – 25 до 35%).

Таким образом, в составе газов, содержащихся в ультрамафитах, главную роль играют водород и углеводороды, суммарное содержание которых достигает  $10 \text{ см}^3/\text{кг}$  и более, а в ультраосновных щелочных породах –  $200 \text{ см}^3/\text{кг}$ . От перидотитов к серпентинитам их содержание уменьшается на порядок. Одновременно с уменьшением концентрации  $\text{H}_2$  до  $0,14 \text{ см}^3/\text{кг}$ ,  $\text{CH}_4$  до  $0,70$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$  и  $\text{C}_3\text{H}_8$  до 0 увеличивается содержание  $\text{CO}_2$  - с  $0,02$  до  $0,08 \text{ см}^3/\text{кг}$ . В связи с изложенным, серпентинизация перидотитов, слагающих нижний слой коры, может рассматриваться как процесс окисления в породе, сложенной оливином и гиперперстеном, водорода и углеводородов, идущий с образованием в составе серпентина гидроксильных групп по следующим реакциям (Велинский, 1978).

I. В системе с дефицитом кислорода:



II. В системе с избытком кислорода:



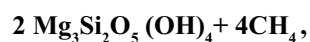
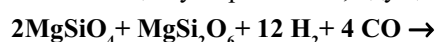
При участии в процессе серпентинизации  $\text{CH}_4$  и  $\text{C}_2\text{H}_6$  в условиях дефицита кислорода образуется самородный углерод в виде графита, в условиях избытка  $\text{O}_2$  – магнезит.

По оценкам В.В. Велинского (1978), основанным на данных Г. Макдональда о содержании газов в базальтовых лавах (около 1 % вес., или 10 г на 1 кг расплава) и В.А. Соколова о содержании водорода в магматических газах (от 1,5 до 90 %, в среднем примерно 10 % от общего объема газов, или 1 г на 1 кг породы), с учетом соотношения его содержания в базальтах ( $0,4 \text{ см}^3/\text{кг}$ ) и гипербазитах на уровне их формирования (около 8), количество  $\text{H}_2$ , пер-

воначально содержащегося в составе последних, превышает 10 г на 1 кг породы. Из рассчитанного количества  $H_2$  в окислительной обстановке может образоваться около 90 г воды на 1 кг породы. Согласно модели общего круговорота воды в природе, при серпентинизации перидотитов затрачивается около 9 г воды на 1 кг породы. Следовательно, водорода, содержащегося в гипербазитах (не считая углеводородов, которые присутствуют в сопоставимых количествах), вполне достаточно, чтобы при его окислении могла произойти частичная или полная серпентинизация породы.

Итак, приведенные факты и аргументы, которые подтверждаются данными Р.М. Юрковой и др. (1982), дают все основания вслед за В.В. Велинским утверждать, что глобальный процесс серпентинизации перидотитов является результатом окисления газовой водородно-углеводородной фазы пород, реализуемого в том или ином масштабе в зависимости от содержания и соотношения газовых компонентов и от величины окислительно-восстановительного потенциала среды. Наряду с серпентинизацией гипербазитов, в определенных условиях, когда в составе газовой фазы вместе с водородом присутствуют углеводороды, неизбежны сингенетичные ей процессы графитизации и карбонатизации.

Важная роль глубинных флюидов водородно-углеводородного состава не исключает участия в процессе серпентинизации гипербазитов, перемещенных в верхний слой коры в результате тектонических или магматических процессов, морской воды или поровых вод, захороненных в осадках и высвобождаемых из них при метаморфизме вмещающих гипербазиты отложений. Но в этом случае серпентинизация гипербазитов не будет иметь глобальный характер и окажется не столь равномерной и однообразной по составу. О значительной роли восстановленных флюидов ( $H_2$ ,  $CH_4$ ) в преобразовании ультрабазитов свидетельствуют также исследования В.А. Дрица и др. (1983), согласно которым начальная стадия серпентинизации ультрабазитов, идущая по реакции:



не обязательно должна быть связана с необходимостью приноса значительного количества кислорода. Метан в процессе серпентинизации взаимодействует с  $O_2$  по реакции



При этом вода расходуется на серпентинизацию, а  $CO+H_2$  снова взаимодействует с образованием  $CH_4$  и т.д., пока большая часть или весь объем  $CH_4$  в процессе серпентинизации не израсходуется при взаимодействии с  $O_2$  с образованием воды, расходуемой на гидратацию оливина и гиперстена.

Уже отмечалось, что количество воды, ежегодно высвобождаемой из верхней мантии, составляет  $0,4 \times 10^9$  м<sup>3</sup>. Однако при раздвигании литосферных плит и пластин в составе глубинных флюидов поступает не вода, а преимущественно водород и углеводороды, количество которых, эквивалентное  $0,4 \times 10^9$  м<sup>3</sup> воды, составляет около 500 млрд м<sup>3</sup>  $H_2$ , а при совместном присутствии в составе глу-

бинных флюидов  $H_2$  и углеводородов – до 100 млрд м<sup>3</sup>  $CH_4$  с примесью  $C_2H_6$  и  $C_3H_8$ . Следовательно, количество углеводородов, которое в течение фанерозоя, за 570 млн лет могло высвободиться из мантии, достигает величины, оцениваемой примерно в  $60 \times 10^{18}$  м<sup>3</sup>, или около  $n \times 10^{16}$  т, из которых часть ушла на серпентинизацию гипербазитов, часть – на иные процессы. Одним из таких процессов, протекающих в зонах спрединга, по-видимому, является восходящая миграция глубинных флюидов, содержащих углеводороды. Значительное их количество в благоприятной обстановке, при наличии вблизи от зон спрединга коллекторов и покровов, могло пойти, претерпев соответствующие преобразования, на формирование или подпитку залежей нефти и газа.

Известно, что при увеличении скорости и амплитуды раздвигания литосферных плит и внутрилитосферных пластин и соответствующем снижении давления интенсивность дегазации вещества мантии, сопровождаемая вертикальной и радиальной миграцией углеводородов в зонах повышенной проницаемости пород, резко возрастает. В таких условиях серпентинизация гипербазитов приобретает не сплошной, а петельчатый характер и лишь частично охватывает породу. Вот почему наиболее благоприятные условия как для генерации, так и для прорыва глубинных флюидов, содержащих углеводороды, на платформах должны создаваться в зонах спрединга, при достаточно интенсивном его проявлении, особенно в узлах сочленения или пересечения тектонических структур.

Серпентинизация гипербазитов, связанная с окислением флюидов, наиболее полно проявляется в офиолитовых поясах, где гипербазитовый магматизм развивается в зонах восходящей фильтрации флюидов, вызывающих широкий метаморфизм окружающих пород. Вне офиолитовых и связанных с ними метаморфических поясов в более жестком и консолидированном (по сравнению с офиолитовыми поясами) фундаменте платформ гипербазитовый магматизм, нередко представленный ультрамафитщелочными интрузиями, развивается при раскалывании и раздвигании блоков континентальной коры. В такой обстановке отделение флюидов от гипербазитовых расплавов происходит в стадию высокотемпературной кристаллизации перидотитов, и серпентинизация в обстановке резкого падения давления проявляется слабо или не проявляется вообще (Маракушев, 1979). Вследствие этого флюиды, содержащие углеводороды, не израсходованные при серпентинизации, устремляются по глубинным разломам в вышележащие структурные этажи. Этим объясняется существование прямой связи между глубинными структурами земной коры и зонами нефтегазоаккумуляции в палеозойских коллекторах Волго-Уральской области. С особой четкостью она проявляется в зонах тройного сочленения тектонических структур (Макушин, 1994).

Итак, источником глубинных флюидов, содержащих углеводороды, была верхняя мантия. В составе восходящих конвективных течений астеносферы, флюиды поступали в отложения платформенного чехла по глубинным разломам, ограничивающим крупные блоки земной коры с различным типом ее строения и различной историей геологического развития, отличающиеся по плотности слагающих их пород, скорости прохождения сейсмических волн, магнитным и электрическим свойствам и т. д.

К таким глубинным разломам субвертикального залегания, отделяющим, в частности, Татарский свод от Серноводско-Абдуллинского и Камско-Бельского авлакогенов или Токмовский свод от Казанско-Кировского прогиба, и / или к сопряженным с ними разломам субгоризонтального залегания приурочены зоны деструкции и разуплотнения фундамента, характеризующиеся повышенной проницаемостью пород, обусловленной их трещиноватостью, катаклизмом и милонитизацией, часто со следами метасоматической переработки, местами с битумоидами.

Восходящая миграция флюидов, содержащих углеводороды по глубинным разломам могла происходить в разное время с интенсификацией в периоды тектоно-магматической активизации. По таким разломам происходит просачивание углеводородов в настоящее время, например, в районе Апшеронского п-ва, где на дневную поверхность проникает несколько миллионов тонн нефти и один миллиард кубометров газа в год, обеспечивающие восстановление запасов и изменение состава нефти (Соколов, 1997). Однако, отсутствие во многих случаях связи между расположением скважин, в которых измерялся тепловой поток, в зоне разлома или вне ее, с одной стороны, и его интенсивностью, с другой, показывает, что не все разломы, активные в геологическом прошлом, являются активными в настоящее время. Подпитка углеводородами залежей нефти и газа, очевидно, может осуществляться лишь по активным в настоящее время зонам деструкции и разуплотнения фундамента.

Следует отметить, что наряду с миграцией флюидов, содержащих углеводороды, происходящей в процессе их фильтрации по зонам глубинных разломов, существуют интрателлурические потоки флюидов, связанные с дифференциацией вещества мантии (Кузнецов и Изох, 1969), которая оказывает не только линейное, но площадное воздействие на вышележащие отложения. Миграция таких флюидов осуществляется путем диффузии их включений как в зонах глубинных разломов, где вещество мантии подвержено интенсивным деформациям и многократной перекристаллизации, способствующих протеканию диффузионных процессов, так и вне их – в условиях резких изменений термодинамических ( $t, p$ ) показателей и высоких градиентов гравитационных, магнитных и электрических полей. Наиболее благоприятные условия для миграции флюидов в процессе диффузии создаются на границах внутрилитосферных пластин и крупных блоков земной коры, имеющих различную историю развития, в частности, на границе блоков с океанической и континентальной корой, сложенных различными по составу породами фундамента и чехла и т. д. С особой интенсивностью миграция интрателлурических флюидов происходит при возникновении пластического течения вещества мантии, вызывающего его деформацию и перекристаллизацию (Кутолин, 1972).

На территории Волго-Уральской области известны зоны деструкции и разуплотнения фундамента с присутствием им интенсивным тепловым потоком и характерным для них резким падением давления. Вторжение глубинных флюидов, содержащих углеводороды, по таким зонам в отложения платформенного чехла должно приводить, при наличии коллекторов и покрышек, к образованию месторождений нефти и газа, а при длительной их

эксплуатации и высоким уровнем годового отбора нефти – к восстановлению запасов.

Вместе с тем, при нахождении на глубине залежей углеводородов в условиях повышенной температуры неизбежно присутствие в их составе значительного количества метана, который, будучи весьма подвижным, при наличии трещин в перекрывающих отложениях будет расходоваться на восстановление химических элементов с переменной валентностью (Fe, Mn, Cu, V, Ni, Co, Cr, Mo и др.), входящих в состав минерального комплекса горных пород. В результате вокруг месторождений образуются аномалии, выраженные в геохимических полях.

Общий мантийный источник углеводородных газов и рудных элементов, обычно связанных с ультрамафит-мафитовыми или ультрамафит-щелочными интрузиями (Ni, Co, Cr, V, Sr, Ba, Ti, Zr, Sc, Ga) и глубинными разломами (Hg, Mo), предопределяет возможность их вертикальной и радиальной миграции в составе комплексных соединений вплоть до земной поверхности с образованием в почвенном покрове весьма своеобразных парагенетических ассоциаций рудных элементов. Путем математической обработки эти и сопутствующие им элементы преобразуются в их линейные диагностические комбинации, показывающие максимально возможное различие между нефтегазоносными площадями, в пределах которых известны месторождения нефти и газа, и “пустыми” площадями, где они отсутствуют, и поэтому такие комбинации могут использоваться в качестве геохимических показателей нефтегазоносности недр.

## Литература

- Агафонов Л.В., Банников О.Л., Андреева Т.А. Зависимость состава газовой фазы гипербазитов от их химизма и генезиса. *Матер. по генетич. и эксперим. минер.* Новосибирск. т. 10. 1976. 64-74.
- Велинский В.В. Серпентинизация гипербазитов. *Геология и геофизика*, № 3, 1978. 52-62.
- Галимов Э.М. Проблемы геохимии углерода. *Геохимия*, № 2, 1988. 258-279.
- Гончаров М.А. От тектоники литосферных плит к геодинамике иерархически соподчиненных литосфер. *Отечественная геология*, № 3, 1999. 10-14.
- Дриц В.А., Слонимская М.В., Степанов С.С., Юркова Р.М., Дайняк Б.А. Роли восстановленных флюидов в процессах серпентинизации ультрабазитов. *Литология и полезные ископаемые*, № 5, 1983. 102-112.
- Заварицкий А.Н. Дунит Нижнетагильского массива на Урале с глубины 500 м. *Вестник Геолкома*, № 4. 1925. 35-38.
- Кропоткин П.Н. Новые данные об углеводородной дегазации Земли. *Дегазация Земли и геотектоника*. М. Наука. 1985. 261-266.
- Кузнецов Ю.А., Изох Э.П. Геологические свидетельства интрателлурических потоков тепла и вещества как агентов метаморфизма и магнаобразования. *Пробл. петрологии и генетич. минералогии*. М. Наука. 1969. 81-87.
- Кутолин В.А. Динамометаморфическая сегрегация магматических расплавов и рудных компонентов в верхней мантии. *Геология и геофизика*, № 8. 1977. 3-12.
- Леонов М.Г. Поступная реидная тектоника континентального фундамента. *Геотектоника*, № 3. 1997. 3-20.
- Лутц Б.Г., Петерилье И.А., Каржавин В.К. Состав газообразных веществ верхней мантии Земли. *Докл. АН СССР*, №2, т. 226, 1976. 440-443.
- Макушин А.А. О зонах глубинной нефтегенерации. *Проблемы комплексного освоения трудно-извлекаемых запасов нефти и природных битумов*. Казань, АО “Татнефть”. 1994. 21-22.
- Маракушев А.А. Петрогенезис и рудообразование (геохимические аспекты). М. Наука. 1979.
- Муслимов Р.Х. Стратегия и тактика освоения нефтяных ресурсов на поздней стадии разведки и разработки. *Георесурсы*, 3(4). 2000. 2-10.
- Нестеров И.И., Рыльков А.Н. и др. Системный анализ при обосновании поисков месторождений нефти и газа. *Тез. докл. 27 Межд. Геол. конг.*, Vol. IX. Энергетические ресурсы мира. Москва. 1984. 192-193.



## Новая установка для моделирования геологических и геофизических процессов

Принадлежащая Университету штата Миннесота (США) Лаборатория в Сент-Энтони-Фолсет (пригород Миннеаполиса) ввела в строй крупнейшую физическую модель, имитирующую ряд важных геологических и геофизических процессов. Ее размер составляет 6,5 на 13 м. Получившая название “Танк юрского периода”, она представляет собой некое подобие “ящика с песком”, способного вместить до 200 т этой породы.

Сконструированный под руководством геолога К. Паола (С. Paola) и инженера Г. Паркера (G. Parker) “Танк юрского периода” в состоянии с надежной точностью воспроизводить процессы, связанные с подъемом и падением уровня моря и их влиянием на расположение береговой линии, климатические условия и, особенно, стратиграфию местности. Учитываются также процессы погружения плит земной коры в процессе спрединга (растяжения) морского дна с их воздействием на океанологические и геологические факторы.

В ходе недавних испытаний было продемонстрировано присущее модели соответствие реальности седиментологических факторов при осадочных процессах, происходящих как в руслах рек, так и на дне океана, где проходят морские течения.

Новым важным элементом по сравнению с существующими (и уже “выходящими из моды”) моделями является то, что миннесотский “Танк” снабжен лазерным устройством, регулярно снимающим информацию, описывающую складывающиеся в ходе эксперимента морфологическую и стратиграфическую характеристики ландшафта. Это позволяет немедленно строить его трехмерную модель.

Что делает устройство еще более уникальным, это сложное контролируемое компьютером дно “ящика”, обладающее способностью опускаться, подниматься или деформироваться с точностью до 100 микрометров. Это дает возможность воспроизводить геологические, стратиграфические и иные последствия, например, вздымания изпод дна колонны солевых растворов, погружения окраины континента и почти любой иной геотектонической активности.

Существовавшие до сих пор аналогичные установки игнорировали важнейший фактор проседания местности. Чтобы осадочные породы могли аккумулироваться, не подвергаясь эрозии под воздействием волн или ветра, или дно бассейна должно опускаться, или уровень моря подниматься. Но уровень моря в геологической истории неоднократно то возрастает, то понижается, и эрозия “стирает” осадочные слои, коренным образом изменяя стратиграфию.

Это почти не учитывали прежние модели, в том числе и такая совершенная для своего времени, как построенная под руководством видного седиментолога Дж. Постмы (G. Postma) в Утрехтском университете (Нидерланды), размеры которой составляли 4 на 8 м. То же можно сказать и о моделях, действующих при Университете штата Колорадо в ФортКоллинсе (США) и при Лидском университете (Великобритания).

Участник миннесотской группы Дж. Маллин (J. Mullin) предложил ввести в конструкцию подобие устройства, применяемого в элеваторах для утряски загружаемого зерна. Для этого окончательная модель была снабжена 432 воронками, из которых постепенно высыпается гравий. Процесс контролируется ЭВМ, так что возникает возможность воспроизвести любое строение моделируемого дна. Пробный запуск имитировал в своем масштабе протоки и разветвления дна, реально существующие в устье рек, впадающих в Мексиканский залив. Удачно также воспроизводились идущие в природе в продолжение миллионов лет процессы формирования береговой линии, изменений уровня моря, характеристик центров спрединга, перемещений ледяного покрова, а также размеров коллекторов, потенциально вмещающих нефть и газ.

Помимо фундаментальных проблем геологии, геофизики, стратиграфии и морфологии, все это помогает решать ряд практических вопросов укрепления побережий, поиск полезных ископаемых, а также градостроительных проблем в случаях возведения крупных сооружений на осадочных породах.

Строительство “Танка юрского периода” обошлось около 0,5 млн. долл. Его работой заинтересовались нефтедобывающие компании США. Установка используется при обучении студентов-геологов.

Science. 2000. V. 87. № 5460. P. 1912.

Материал подготовил Б.И. Силкин

---

Озол А.А. *Осадочные и вулканогенно-осадочный рудогенез бора*. М. Наука. 1983.

Пейве А.В. Геология раздела Мохоровичича. *Проблемы тектоники земной коры*. М. Наука. 1981. 17-19.

Персилье И.А., Коржавин В.К. Газ и органические соединения в магматическом процессе. *Тр. I Межд. геохим. конг.* т. I. Магматические процессы. Москва. 1972. 282-296.

Соколов Б.А. Нефтегазообразование как фундаментальная геологическая проблема. *Геохимия*, № 10. 1997. 979-984.

Хесс Г. История океанических бассейнов. *Новая глобальная тектоника*. М. Мир. 1974. 9-26.

Юркова Р.Н. Слонильская М.В., Дайняк Б.А., Дриц В.А. Водород и метан в серпентинах различных генетических типов (на примере Сахалина и Корягского нагорья). *Докл. АН СССР*, № 2, т. 263. 1982. 420-425.

### Альфред Альфредович Озол

Главный научный сотрудник ЦНИИгеолнеруд, д.г.-м.н., член-корр. ТО Международной академии информатизации и Российской экологической академии, Почетный разведчик недр, Заслуженный деятель науки РТ, автор более 120 научных работ, 4 монографий. Область научных интересов - геохимия процессов рудогенеза и нефтегазообразования.