

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МИГРАЦИИ НЕФТИ И ГАЗА

Перельман М.Е., Гугунава Г.Е., Кириа Дж.К.

*Институт геофизики им. М.З. Нодиа, 0193, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1  
Racah Institute of Physics, Hebrew University, Jerusalem, 91904, Israel*

К настоящему времени не существует общепринятой теории происхождения месторождений ископаемых углеводородов и нет ясных критериев прогноза нефтегазоносности тех или иных регионов. Поэтому обсуждение возможных гипотез о возникновении таких образований представляется своевременным.

В качестве основы для обсуждений можно принять такие положения.

1. Породы осадочного комплекса содержат в межзеренном пространстве растворенные в воде флюиды углеводородов. При этом не ставится вопрос об их происхождении – органическом или неорганическом; возникновение достаточно сложной возможно даже на стадии протопланетного облака под действием УФ излучения центрального светила (наличие в таких облаках углеводородов, и притом в значительных количествах, зафиксировано методами инфракрасной астрономии) и последующей их конденсации в протофлюиды.

2. Миграция рассеянных флюидов происходит под действием изменяющихся давлений и температур в осадочном комплексе, что может приводить к их скоплениям, концентрации и формированию месторождений.

3. Изменения давления (и температуры) вызываются, в основном, движениями плит и блоков, точнее, сопровождающими эти движения столкновениями, приводящие к термоупругим напряжениям и субдукциям. (Возникновение ударных структур может быть вызвано и падениями крупных метеоритов).

Движения тектонических плит могут происходить по двум механизмам: а) под воздействием гипотетических конвективных ячеек в астеносфере, постулируемых в концепции глобальной тектоники; б) под действием приливных волн в астеносфере [1]. Последний механизм приводит к существенным различиям в средней скорости плит в зависимости от их геометрии и локализации, причем само движение – неравномерное во времени и по направлению, оно складывается из отдельных толчков. Именно, поэтому на границах сталкивающихся плит должны аккумулироваться термоупругие напряжения, которые весьма медленно релаксируют.

4. В полях термоупругих напряжений происходят следующие процессы, существенные для нашего рассмотрения: 1) нагрев пород приводит к увеличению доли флюидов в пароводяной фазе ввиду гидрофильности основных компонентов осадочного комплекса (окислы, силикаты, карбонаты, сульфаты); 2) термические коэффициенты объемного расширения воды или водяного пара и отсутствующих флюидов на два, примерно, порядка выше коэффициентов расширения пород. Возникающее при нагреве избыточное давление вызывает латеральное перемещение жидкостей (паров) против градиента давления и температуры; 3) горизонтальное (или почти горизонтальное) перемещение жидкопарофазных компонент ведет к их фракционной ректификации, т.е. трещиноватые и зернистые составляющие осадочного комплекса начинают играть роль протяженной хроматографической колонки.

5. Обогащение парожидких фракций углеводородами и их производными приводит к образованию кластеров, а на последующих этапах, в более охлажденных зонах, к их коалесценции.

6. Вертикальная составляющая движения жидкой фазы ведет, благодаря седиментации образованных протокапель углеводородов, к обогащению ими верхних горизонтов осадочного комплекса.

Отметим, что процессам коалесценции способствуют такие явления, как удаление водяного пара и воды при ультрафильтрации через мелкопористые (недоступные для крупных молекул)

среды, большая способность воды к капиллярной конденсации из-за большей смачиваемости, явления высаливания, проход через критическую температуру растворения и т.п.

7. Поскольку, именно водяные пары являются основным двигателем флюидов, критической изотермой их полного вытеснения из матрицы должна являться критическая изотерма воды - 374°C (для углеводородов и их производных, во всяком случае содержащих не более девяти атомов углерода, критическая температура кипения ниже и она близка к критической температуре растворения - 290° ± 350°C). Поэтому осадочные породы, находящиеся в зонах более высокой температуры, т.е. очень близкие к границам сталкивающихся плит, не должны содержать эти флюиды.

С другой стороны, после остывания, эти породы обладают достаточным свободным измеренным объемом для всасывания из более нагретых соседних областей избыточной жидко-паровой компоненты, уже, возможно, обогащенной флюидами. При этом, естественно, узкие трещины и капилляры всасывают в себя, как гидрофильные образования, воду, способствуя тем самым дальнейшей концентрации углеводородов.

Таким образом, представляется, что первичные процессы концентрации углеводородов состоят в длительном горизонтальном перемещении содержащей их пароводяной смеси против градиента давления и температуры в природном хроматографическом слое (с облегченным, возможно, вертикальным удалением водо-паровой фазы путем ультрафильтрации, капиллярной конденсации и химической адсорбции).

Следует отметить, что дополнительным подтверждением гипотезы может служить идентификация ряда изолированных месторождений в Северной Америке с кратерами крупных метеоритов [2]. Действительно, при ударе большого метеорита развиваются термоупругие напряжения такого же рода (но на много порядков более быстрые), как и при столкновениях тектонических плит.

Возникновение и развитие нефтегазоносных полей проходит через несколько стадий, которые можно, весьма условно, подразделить на первичные и вторичные процессы миграции.

В первичных процессах происходит: 1) обогащение весьма разбавленных растворов (газовых смесей) флюидов в воде (в водяном паре) и 2) отделение молекул углеводородов, адсорбированных на зернах и в капиллярных щелях осадочной матрицы, они собираются в микрокапли и кластеры, которые затем могут объединяться (коалесцировать) в более крупные образования. Основными для второго этапа являются процессы десорбции этих молекул, особенно, на начальной стадии, при десорбции из мономолекулярного адсорбированного слоя, когда в стандартной формуле для скорости десорбции [3]

$$v = n(h/kT) \exp(-E/kT), \quad (1)$$

энергия десорбции  $E$  – максимальна. Здесь  $n$  – плотность атомов на единичной площади поверхности,  $h$ ,  $k$  – постоянные Планка и Больцмана,  $h/kT$  – универсальный временной фактор Эйринга (он может существенно меняться в различных состояниях).

Формальная зависимость (1) от температуры  $T$  – очевидна. Более интересно обсудить факторы, могущие влиять на энергию десорбции. При нормальных условиях и малом давлении газа адсорбента из смежных молекул  $E \sim 10 \div 20$  ккал/моль, т.е. примерно порядка теплоты сублимации (большую величину  $E$  при физической адсорбции углеводородов можно связать с величиной дипольного момента молекул). Энергия сублимации и коэффициент поверхностного натяжения обращаются в нуль при достижении критической температуры.

Для воды критические параметры  $t_{кр} = 374^\circ\text{C}$  и  $P_{кр} = 219$  атм., а для углеводородов, во всяком случае, для молекул, содержащих не более 9 атомов углерода (данные для галогензамещающих, содержащих азот или серу) критическая температура несколько ниже и значительно ниже критическое давление.

Поэтому можно утверждать, что при достижении температуры в 374°C в матрицах осадочных пород практически не остается адсорбированных молекул, все флюиды находятся в газовой фазе и могут, поэтому, легко мигрировать против градиента давления. В процессе такой миграции в капиллярных щелях, как в ловушках, происходит обогащение углеводородной компоненты, связанное с их большим геометрическим размером и, следовательно, происходит первичная коагуляция микрокапель.

Таким образом, эти процессы можно описать последовательностью:

разбавленный раствор (нагр.) → концентрация раствора → нуклеация → коллоид → коалесценция → концентрация.

Этот набор субпроцессов ведет к ректификации, а главным при этом становится – отход от азеотропной точки, где нет разделения компонентов и неэквивалентный обмен между газовым и жидким растворами (смесями).

Скорость адсорбции определяется формулой

$$U' = \frac{P\zeta}{\sqrt{2\pi mkT}} (1 - \theta),$$

где  $\theta$  - доля занятой поверхности,  $\zeta$  - вероятность прилипания ( $\zeta \approx 1$ ).

Скорость десорбции, соответственно,

$$U'' = K_0 \theta e^{-Q/RT}.$$

При капиллярной конденсации выделяется больше теплоты, чем при обычной конденсации, поэтому такая конденсация идет при давлениях ниже порога насыщения:

$$P \sim P_{нас} e^{\frac{V\sigma}{r\Delta T}},$$

где  $V$  – объем фазы,  $r$  – радиус цилиндрического мениска.

Поэтому застревание углеводородов происходит в капиллярах, если они смешиваются больше, чем вода. Меньше, чем вода – в гидрофильных образованиях – (окислы, сульфаты, карбонаты, силикаты). Поэтому в таких породах они будут концентрироваться в паровой фазе.

Жидко-твердое (газо-твердое) фракционирование можно подразделить на такие подпроцессы.

I. Фракционирование по растворимости:

- 1) высаливание,
- 2) удаление воды – большая проникающая способность,
- 3) понижение температуры,
- 4) расслоение истинного раствора ниже критической температуры растворения.

Все это ведет к образованию коацерватов.

II. Хроматографическое фракционирование

- 1) абсорбиционная хроматография

III. Седиментационное фракционирование:

- 1) в изотермической среде
- 2) при латеральном градиенте температуры: конвекционные ячейки с накоплением легких фракций вверху.

IV. Диффузионное фракционирование:

- 1) изотермическое
- 2) термическая диффузия

V. При ультрафильтрации через мелкопористые мембраны

VI. Ректификация – диффузионный обмен между неравновесными фазами (жидкость, пар, адсорбиционные слои).

Все рассмотренные выше механизмы возникновения углеводородов могут работать каждый в отдельности или в совокупности.

Эти флюиды перемещаются в межзеренном пространстве горных пород под воздействием термоупругих напряжений в соответствии с уравнением Дарси, переработанным для больших температур и давлений [4].

## Литература

1. М.Е. Perel'man. Bull. Ac. Sc. Georgian SSR. 135. 97 (1989)
2. Р. Гринлер – Сб.: Новое в исследовании поверхности твердого тела. Том 2. М.: Мир. 1977. С.139.

3. С. Глесстон, К. Лейдлер, Г. Эйринг – Теория абсолютных скоростей реакций. М.: ИИЛ. 1948.
4. G.F.Gugunava, M.E.Perel'man, D.A.Kiknadze, G.M.Rubinstein, N.G.Gugunava. On problems of genesis and localisation of oil-gas fields (Role of thermoclastic stresses in the subduction zones). Bull Acad. Sc.Georgia. T.156. №2. 1997.
5. M. Perelman, G.E. Gugunava, K. Kartvelishvili, J. Gogiashvili, N. Chikovani, G. Rubinshtein. Tidal oscillations as motive force of primary migration of hydrocarbons to west outskirts of tectonic plates and localization of hydrocarbon beds occurring in process of subduction. Journal "Scientific Israel-Technological Advantages". vol.7. N 2. 2005.

Работа выполнена при поддержке гранта МНТЦ G-1532.

## ნახშირბადის ჭაბაზის მიგრაციის ზონირების საკითხი

პერელმანი მ., გუგუნავა გ., ქირია ჯ.

### რეზიუმე

ამჟამად არ არსებობს საზოგადოებრივი მიღებული თეორია ნახშირწყალბადების ნამარხ საბადოთა წარმოშობის შესახებ. საფუძვლის სახით მიიღება შემდეგი დებულებები:

1. დანალექი ქანების მარცვლებს შორის სივრცე შეიცავს წყალში გახსნილ ნახშირწყალბადების ფლუიდებს.
2. ფლუიდების მიგრაცია დანალექ კომპლექსში ევალუბადი PT პირობების გავლენით დარსის განტოლების შესაბამისად ხდება, რომელიც მაღალი PT პირობებისთვის არის გარდაქმნილი.

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МИГРАЦИИ НЕФТИ И ГАЗА

Перельман М.Е., Гугунава Г.Е., Кирия Дж.К.

### Реферат

В настоящее время не существует общепринятой теории происхождения месторождений ископаемых углеводородов.

В качестве основы принимаются следующие положения:

1. В межзеренном пространстве осадочных пород содержатся растворенные в воде флюиды углеводородов.
2. Миграция флюидов происходит под воздействием изменяющихся PT-условий в осадочном комплексе, в соответствии с уравнением Дарси переработанным для больших PT- условий.

## SOME ISSUES ON OIL AND GAS MIGRATION

Perelman M., Gugunava G., Kiria J.

### Abstract

Nowadays there is no publicly received theory for generation of buried hydrocarbon deposits. Some propositions as foundation are accepted:

1. The space among granules of sedimentary rocks contain hydrocarbon fluids dissolved in water. The fluids migrate in a sedimentary complex under the influence of variable PT conditions according to the Darcy equation transformed for high PT conditions