

УДК 553.98;550.4

## ПРОБЛЕМЫ НЕФТЕПОИСКОВОЙ ГЕОХИМИИ И ОБОБЩАЮЩАЯ СХЕМА МИГРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ФЛЮИДОВ

Ю.В. Коржов, В.И. Исаев\*, А.А. Жильцова

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

\*Томский политехнический университет

E-mail: isaev\_sah@mail.ru

Приведен обзор традиционных и современных представлений о механизмах восходящей миграции углеводородов от залежей нефти и газа. Рассмотрены классические и новейшие методы нефтепоисковой геохимии. Сделан вывод о методологических основах понимания процессов миграции углеводородных флюидов, об устойчивых приповерхностных геохимических индикаторах залежей. Предложена концептуальная схема восходящей миграции «абиогенных» углеводородов и углеводородов из керогена осадочных пород. Схема предполагает функционирование в земной коре механизма постоянной флюидной и/или энергетической «подпитки» газовых и нефтяных месторождений, формирование фоновых геохимических полей рассеивания и аномальных значений геохимических параметров надпродуктивных отложений.

### Ключевые слова:

Миграция углеводородов, методы нефтепоисковой геохимии, геохимические индикаторы залежей, концептуальная схема восходящей миграции углеводородов.

### Key words:

Migration of hydrocarbons, methods of petrosearch geochemistry, geochemical indicators of deposits, the conceptual schema of ascending migration of hydrocarbons.

### Введение

Развивающаяся приборная и методическая аналитическая база, а также выявление новых геохимических индикаторов нефтегазоносности [1–4] позволили геохимии утвердиться в последние годы в ряду геофизических, аэрокосмических и других «легких» методов в качестве недорогого, эффективного и перспективного способа повышения достоверности прогноза на нефть и газ. Но по-прежнему актуальным остается решение целого ряда проблем нефтепоисковой геохимии:

- достоверность связи аномальных концентраций веществ в приповерхностных горизонтах разреза с глубинным влиянием нефтяных залежей;
- возможность и механизм перемещения тяжелых нефтяных углеводородов (УВ) в земной коре и, в частности, их вертикального перемещения к земной поверхности с образованием приповерхностных фоновых и аномальных концентрационных полей;
- установление причин существенного различия состава УВ в глубинных и приповерхностных горизонтах разреза.

В настоящем обзоре приведены классические и новейшие представления о принципах миграции, механизме, роли физических и химических факторов, обеспечивающих условия миграции углеводородных флюидов (УВ-флюидов).

Особый интерес представляет выяснение вопросов о возможности и механизме вертикальной миграции в приповерхностные горизонты тяжелых нефтяных УВ состава  $C_8$ – $C_{40}$  и, в частности, ароматических. Их присутствие повсеместно обнаруживается в подпочвенных грунтах верхних этажей геохимического опробования, а в некоторых случаях их используют при геохимическом опробовании в качестве «прямых» указателей нефтяных залежей.

### Классические представления об образовании, миграции, аккумуляции и рассеивании УВ-флюидов и традиционные методы геохимических поисков

В России основоположником геохимических методов поиска и разведки месторождений нефти и газа является советский физик В.А. Соколов. Изобретение им прибора обнаружения микроколичеств радона и тория привело к развитию широкой программы наземной геохимической разведки нефти и газа в СССР. В.А. Соколов впервые (1929 г.) предложил провести газовую съемку для определения в подпочвенных отложениях микроконцентраций углеводородных газов и жидких УВ, мигрирующих из находящихся в более глубоких горизонтах залежей нефти и газа. В это же время изобретатель Г. Лаубмейер зарегистрировал в Германии и США патент «Метод и прибор для обнаружения в недрах продуктивных отложений», в котором УВ почвенного газа рассматривались в качестве показателя залежи нефти и газа. Именно газовая съемка явилась тем геохимическим методом, который получил наиболее широкое развитие и известность.

Период с конца 40-х до начала 80-х гг. прошлого столетия характеризуется как этап становления основ современных концепций нафтидогенеза. Углубляются геохимические, геодинамические и флюидодинамические основания органических и неорганических гипотез происхождения, концентрирования и рассеивания жидких и газообразных УВ. Существенным достижением теории нафтидогенеза является обоснование процессов миграции углеводородов (И.О. Брод, 1930; С.Г. Неручев, 1940; В.А. Соколов, 1940), в результате которой возникают и рассеиваются скопления и залежи УВ.

Различают первичную и вторичную миграцию. *Первичная миграция (эмиграция)* представляет собой перемещение УВ-флюидов внутри нефтемате-

ринской толщи и выход из нее в пласты-коллекторы. Под *вторичной миграцией* понимается перемещение нефти и газа в пласте-коллекторе или группе гидравлически связанных пластов (внутрирезервуарная миграция) или перемещение из одного пласта в другой (межрезервуарная миграция).

Наиболее сложные вопросы связаны с первичной миграцией углеводородов из материнских пород. Генерация, десорбция и эмиграция подвижных компонентов битумоида (микронепти) из материнских пород вызываются повышением температуры или действием растворителей: пластовых вод, углеводородных и неуглеводородных газов и легких УВ. Перемещение микронепти происходит при воздействии как внешних факторов (градиенты давления, температуры, петрофизических свойств пород), так и внутренних (дисперсность среды, градиенты концентраций веществ, сил поверхностного натяжения и др.).

Существует ряд свойств, процессов и факторов, создающих условия, влияющие на первично-миграционные процессы. В зависимости от действия этих факторов и процессов, различают механизмы *первичной миграции УВ* [5–8]:

- с водой в виде истинных растворов либо по принципу коллоидно-эмульсионного механизма. Эти механизмы теоретически и экспериментально обоснованы и возможны в определенных пластовых условиях;
- в виде газовой фазы. Газовые растворы, вследствие их низкой вязкости, высокой растворяющей способности по отношению к жидким УВ и большой подвижности в тончайших порах могут обеспечивать первичную миграцию из материнских пород. УВ, растворенные в газе, являются преобладающей формой перемещения в породах с очень мелкими порами. Эмиграция нефтяных УВ в виде газовых растворов доказана экспериментально;
- в собственно жидкой фазе. Сюда относится активная миграция в виде глобул, капель, струй, пленок на пузырьках газа и частицах породы. Нефть плохо смачивает большинство минералов, и только поверхности частиц с битуминозным покрытием образуют пути, благоприятные для ее движения. Поэтому движение потоков УВ может облегчаться наличием прожилков и трещин, заполненных керогеном.

*Вторичная миграция* обусловлена в основном гравитационным и гидравлическим факторами. Гравитационный механизм вторичной миграции заключается в следующем. Попадая в коллектор, заполненный водой, капли нефти и пузырьки газа всплывают в ней к кровле пласта. Если пласт имеет наклонное положение, то всплывание происходит вверх по его восстанию. Движению флюидов в пласте препятствуют силы межфазового трения, молекулярное притяжение стенок пор в породе [9, 10].

Гидравлический фактор проявляется в виде гидродинамического напора в пласте. Этот напор

способствует преодолению капиллярных сил в сужениях поровых каналов. В водных системах на глубинах могут возникать зоны напоров, связанные с уровнями, на которых происходит дегидратация глинистых минералов и выделяются дополнительные объемы воды, или с очагами генерации УВ, которые также пополняют общий объем флюидов. В соответствии с дефлюидизацией происходит перераспределение давлений и начинается движение. Наряду с гидродинамическими перетоками, возникающее различие в минерализации вод вызывает гидрогеохимический переток, неоднородность поля температур – геотермический переток, процессы перестройки тектонических структур и динамического напряжения – геодинамический переток. Все эти процессы действуют на существующую структуру породы. В результате изменяется микротрещиноватость. Флюиды, насыщающие породы, получают мощный импульс движения, происходит активная миграция. В связи с периодичностью проявления вышеуказанных процессов, миграция в породах осадочных бассейнов носит пульсационный характер и протекает неравномерно в геологической истории [7, 9, 11].

По направлению движения различают *вертикальную и латеральную миграцию*. Латеральная миграция ограничивается ближайшими структурами, препятствующими дальнейшему перемещению, но может идти дальше, если ловушка не способна удержать всю нефть или газ.

По мнению Б.А. Соколова [12], именно восходящие флюидодинамические потоки являются одной из важных форм миграции. Углеводородные растворы, поднимаясь по трещинам и порам вверх по разрезу, пересекают горизонты коллекторов, в которых температура и давление ниже соответствующих показателей очагов генерации. Происходит фазовая перестройка и выделение газообразных и жидких углеводородов в свободные фазы. На капиллярных экранах или барьерах происходит аккумуляция УВ в этих горизонтах.

В целом, традиционные представления об образовании и миграции нефтегазовых УВ сводятся преимущественно к хорошо разработанной органической концепции нафтидогенеза. Были предложены и детально исследованы условия и механизмы катагенетического образования УВ, движущие силы и механизмы их перемещения в пористых средах земных недр. Результатом явилось широкое признание *осадочно-миграционной теории образования, миграции и аккумуляции углеводородов* [13, 14]. Опираясь на эту теорию, были открыты десятки тысяч залежей углеводородного сырья.

За рубежом, в первые послевоенные десятилетия, геохимические методы применялись преимущественно для разбраковки выявленных сейсмозвездкой локальных объектов перед постановкой на них глубокого бурения, что позволяло повысить эффективность работ в 2...3 раза. В США с 1942 по 1957 гг. из 98-и значительных месторождений неф-

ти и газа 25 были обнаружены с применением геохимических методов поисков. При применении геохимических методов в комплексе с сейсморазведкой были открыты также многие месторождения, связанные с ловушками неантиклинального типа. В последние десятилетия XX столетия, в связи с ростом стоимости сейсморазведочных работ, на многих территориях геохимические исследования начали проводить перед постановкой сейсморазведки. Статистическая оценка эффективности применения геохимических методов при поисках месторождений нефти и газа за рубежом показывает, что бурение в пределах выявленных геохимических аномалий в 79 % случаев дает приток нефти, а бурение в местах отсутствия аномалии углеводородов оказывается пустым в 87 % случаев [15].

В России геохимические методы прогноза нефтегазоносности интенсивно применяются в 60–70-х гг. прошлого столетия. Именно в этот период были разработаны методы диагностики нефте- и газопродуцирующих отложений, методы оценки интенсивности нефте- и газообразования в них, методы установления генетических связей между битумоидами рассеянного органического вещества материнских толщ и дочерними нефтями. В эти годы вышло несколько крупных работ, посвященных геохимическим методам прогноза нефтегазоносности. Среди них нельзя не отметить монографию А.Э. Конторовича [16].

Наряду с широким практическим применением геохимических методов, *возникают дискуссии об их реальном значении*. Истоки этих дискуссий — проблема «первичности» в концепциях органического и неорганического происхождения нефти и газа. Решающее доказательство органического происхождения нефти принесли данные, установившие тождество нефтяных и биогенных УВ на молекулярном уровне. Молекулы таких органических соединений получили название — биомаркеры, т. е. метки, указывающие на биогенное происхождение нефти [17, 18].

Несмотря на это, ряд исследователей, как в России, так и за рубежом продолжают отстаивать неорганическое происхождение нефти. *Дискуссии затрагивают и вопросы миграции*. Так сторонники неорганического синтеза считают, что рассеянная нефть, если бы таковая могла образоваться, не в состоянии мигрировать из-за отсутствия в природных условиях механизма, способствующего слиянию разрозненных капель нефти в непрерывную фазу. *Продолжаются дискуссии и в вопросе формирования залежей нефти и газа*. Одни исследователи считают, что образование залежей нефти и газа происходит в результате генерации жидких и газообразных УВ в осадочных толщах и последующей их миграцией в ловушки, в которых происходит их аккумуляция. Другие — связывают образование залежей с фазовыми переходами перемещающихся в горных породах и водных средах диффузно-рассеянных жидких и газообразных УВ. Процесс перехода УВ из диффузионно-рассеянно-

го состояния в жидкое или газообразное принимается за процесс рождения нефтяной или газовой залежи [19].

#### **Современные представления о возможности и механизме восходящей миграции УВ-флюидов и новейшие геохимические методы поисков**

В процессе развития новых технологий поиска и разведки нефтегазовых месторождений, *эволюционировали и геохимические методы поисков*, чему посвящены многие исследования Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск. Начиная с 1986 г., сотрудниками института проводится геохимическая газовая съемка с целью разработки и совершенствования методики определения перспектив нефтегазоносности поисковых площадей, уточнения контуров залежей и корректировки размещения поисково-разведочных скважин [20]. За период 1986–1994 гг. исследовано около 10 тыс. проб снега, выделено более 200 аномалий различной протяженности и контрастности. *Пространственно аномалии образуют две группы: первая включает в себя аномалии, отражающие непосредственно залежь, вторая соответствует зоне водонефтяного контакта*. Как правило, на нефтегазоносных территориях присутствуют обе группы аномалий, образование которых связывают с фильтрационно-диффузионным массопереносом углеводородных газов и низкомолекулярных жидких углеводородов из залежи в перекрывающие их осадочные породы.

Согласно современной теории геохимических поисков, залежь нефти и газа — это локальная область концентрированного скопления жидких и газовых углеводородов, сопутствующих им кислых газов и химических элементов. В пределах распространения залежи отмечаются изменения свойств нефтей и минералогических особенностей пород-коллекторов [21]. Не менее существенные изменения можно заметить в слоях, граничащих с продуктивными толщами.

Миграция УВ из залежей нефти и газа в значительной мере определяется геологическими условиями. Большой перепад давления от залежей вверх по разрезу обуславливает возможность протекания процессов фильтрации (микрофильтрации), а разница концентраций вызывает процессы самопроизвольного молекулярного перемещения углеводородов — диффузию.

*Миграция УВ посредством фильтрации* является важным процессом образования углеводородных аномалий в покрывающих залежь отложениях. При этом, возможно, что наличие глинистых пород не является препятствием для указанного процесса. Допускается, что миграция происходит путем прорыва УВ через породы-покрышки при струйной миграции и имеет местами пульсирующий характер. Повышенная тектоническая активность того или иного участка усиливает этот процесс.

*Диффузия* — молекулярное перемещение вещества. Повышенной диффузионной способностью характеризуются газообразные компоненты. Жид-

кие и даже твердые УВ в определенной мере также способны диффундировать в поровом пространстве, распределяясь в нем в соответствии с адсорбционной способностью. Диффузия является постоянно действующим процессом, связанным с миграцией УВ из залежей. Скорость данного процесса повышается с ростом температуры. Поэтому для зон с повышенным температурным градиентом диффузия углеводородов должна протекать более интенсивно. С ростом давления скорость диффузии уменьшается. Диффузионная проницаемость пород зависит от их литологического состава и физических свойств пород, природы диффундирующих компонентов, воздействия процессов сорбции, растворения. Как показывают модельные эксперименты, наибольшей подвижностью при перемещении через породу обладают насыщенные соединения и алкилароматические, у которых ароматические центры в большей степени экранированы алкильными заместителями. Наименьшая подвижность характерна для нафтеноароматических и наиболее компланарных молекул [22]. Появление малейших признаков трещиноватости, примесей инородного материала приводит к значительному возрастанию диффузионной проницаемости [23].

Характер и интенсивность процесса вертикальной миграции УВ изменяются в течение геологической истории залежи. Миграция газовых и жидких УВ по зонам тектонических нарушений и повышенной трещиноватости пород происходит интенсивно в активную фазу тектонических процессов. В дальнейшем, вследствие уменьшения числа и размеров трещин и разрывов может происходить некоторое затухание процесса фильтрации УВ, но это ограничение не касается диффузии.

Важное значение имеет специфический состав мигрирующих УВ, которые содержатся в значительных концентрациях только в залежах нефти и газа и потому являются прямыми признаками нефтегазоносности. Метан относят к прямым показателям нефтегазоносности, но следует учитывать, что он образуется и некоторыми современными микроорганизмами, генерируется рассеянное органическое вещество на ранних этапах литогенеза. Газообразные углеводороды  $C_2$ – $C_4$  характерны только для залежей. Они практически не образуются бактериями, их генерация органическим веществом в зоне геохимического опробования незначительна. Поэтому при анализе полей концентраций этан, пропан и бутан являются ведущими показателями. Углеводороды  $C_5$ – $C_8$  и более тяжелые типичны только для нефти, но их миграционные способности ограничены в связи с большим молекулярным весом. Традиционно считалось, что они могут быть встречены только в районах с интенсивными процессами вертикальной миграции — фильтрации по зонам тектонических нарушений [6].

Однако новейшие примеры геохимических поисков по тяжелым УВ не укладываются в эту концепцию.

Это геохимические исследования в центральной части Западно-Сибирской плиты [4, 24]. При исследованиях решались задачи прогнозирования залежей УВ как на территории, где поисковое и разведочно-эксплуатационное бурение не проводилось, так и на территории, где активно ведется поисковое и разведочное бурение, добыча углеводородного сырья. Новейший характер данных исследований заключается в том, что решение поставленных задач было выполнено на основе анализа аномалий тяжелых  $C_{10}$ – $C_{14}$  ароматических УВ, а не как обычно — по аномалиям углеводородных и неуглеводородных газов, или по составу тяжелых алкановых УВ. Проведенные исследования показали наличие «кольцевых» зон аномалий концентраций тяжелых УВ, соответствующих в латеральном плане положению водонефтяного контакта нефтяных залежей.

Стоит отметить, что определенным методическим аналогом приведенных выше примеров поисков по ароматическим УВ является запатентованная методика отбора проб и прогнозные построения, выполняемые компаниями W.L. Gore & Associates Inc. и W.L. Gore & Associates GmbH (2006 г.).

*Краткий анализ состояния проблемы проявления миграции УВ-флюидов из залежи в приповерхностные горизонты разреза позволяет сделать следующие выводы:*

- восходящие потоки мигрирующих УВ являются важнейшей формой переноса их в надпродуктивные отложения;
- в районах активного развития разрывной тектоники преобладает фильтрационный массоперенос УВ, в платформенных (плитных) условиях — диффузия УВ;
- пространственно приповерхностные аномалии концентраций УВ образуют две группы: первая — отражает апикальную часть залежи, вторая — соответствует зоне водонефтяного контакта;
- новейшие исследования показывают, что тяжелые ароматические УВ образуют устойчивые аномальные зоны концентраций в приповерхностных отложениях, связанные с продуктивными ловушками нефти и газа;
- важна принимаемая концепция генезиса УВ нефтеносных отложений и залежей нефти и газа, как источников аномалий концентраций УВ в приповерхностных горизонтах разреза, т. к. формирование аномальных геохимических полей — это геологический процесс, в котором генерация, миграция, аккумуляция и диссипация УВ неразрывны.

#### Обобщающая схема восходящей миграции УВ-флюидов

Приведенная ниже качественная схема восходящей миграции УВ-флюидов построена на основе критического интегрирования классических и современных представлений о сквозной вертикальной миграции УВ, исходя из наличия глубинного

источника их образования. Предполагается, что часть газообразных УВ образуется абиогенным путем в результате дегазации мантии Земли, другая часть газообразных УВ образуется из органического вещества осадочных пород, зятанутых в зоны субдукции плит, в условия высокотемпературного пиролиза. Но большая часть газообразных и жидких УВ образуется в осадочных бассейнах, в результате постепенной термической деструкции керогена в условиях катагенеза пород. Такая позиция диктуется логикой протекания высокотемпературных реакций пиролиза органических веществ при температурах выше 400...500 °С и реакций термоллиза керогена при более низких температурах в среде суб- и сверхкритических флюидов [10, 11, 25, 26 и др.].

В тезисной форме концепция схемы миграции УВ-флюидов представляется следующим образом.

Начало восходящего пути УВ-флюидов (температуры выше 200 °С)

1. Движение УВ формируется и контролируется системой глубинных разломов, уходящих корнями в мантию [19, 27].
2. Глубинные потоки имеют природу гидротермальных флюидных систем. Это могут быть водные термальные растворы УВ, газово-водные системы или газовые перегретые мантийные потоки веществ [11].
3. Основой глубинных потоков УВ являются углеводородные газы — преимущественно метан и, в значительно подчиненном положении, его ближайшие гомологи  $C_2-C_4$  [6, 7, 20].
4. Глубинное движение флюидов подчиняется и направляется действием изменчивых во времени и пространстве геофизических полей, главными из которых являются давление, температура и концентрационная неоднородность среды. В условиях неоднородной геологической среды геодинамическое сжатие пород и заполняющих их флюидов приводит к образованию подвижной самоорганизующейся флюидодинамической системы, в которой возникают высоко- и низкочастотные колебания [28]. Колебательные движения «прорывают» флюидные барьеры петрофизически разнородных пород. Для таких флюидных систем флюидоупоры теряют экранирующие свойства, а зоны разуплотнения и разломные зоны воспринимаются как «магистральные каналы» из областей сверхдавлений в зоны релаксаций. Геодинамический механизм перемещения флюидов характерен для зон, приуроченных к тектоническим разломам, зонам рифтогенеза и коллизии литосферных плит, в том числе для глубокопогруженных палерифтовых зон осадочных бассейнов [12, 28].
5. Фазовая однородность и сверхкритические свойства придают флюидам исключительную подвижность и растворяющую способность

по отношению к рассеянным битумоидам вышележащих (либо окружающих) осадочных толщ [11, 26]. УВ пород, способные к растворению и миграции в составе сверхкритических флюидов, включаются в движение и переносятся в области более спокойных термодинамических условий. Основными наиболее эффективными формами массопереноса УВ на данной стадии, скорее всего, являются водные и газовые растворы, а механизм переноса — струйная импульсная фильтрация под действием градиентов сил.

Пора зрелости УВ-флюидов (температуры 200...90 °С)

6. Поднимаясь постепенно вверх по восстанию пластов и зонам разуплотнения пород, сверхкритические флюиды попадают в области более низких температур и давлений. Водные системы входят в субкритическое состояние раньше, газовые растворы — несколько позднее (и выше). Переход сопровождается выделением в свободную фазу жидких и газообразных УВ [29].
7. Последующее движение различных флюидных фаз (водных и газовых растворов УВ, свободных фаз жидких и газообразных УВ) происходит либо совместно в виде водных или газовых эмульсий, либо раздельно. Основными движущими силами, по-прежнему, остаются неравномерные по плотности поля давлений, а также гравитационное поле Земли. Температурные градиенты несколько ослабевают и играют меньшую роль в перемещении УВ, но способствуют образованию локальных термодинамических неоднородностей среды, таких, как зоны аномально высоких давлений [11].
8. Восходящее движение происходит как по восстанию пористых пластов, так и по сети разломов и межблочных разуплотнений пород. Формы массопереноса, в значительной степени, определяет петрофизическая неоднородность среды. В трещиноватых системах эффективным является перенос УВ в виде водных и газовых эмульсий. Движущими силами при этом являются силы всплывания. С уменьшением пористости преобладающим становится перемещение УВ в форме газов и газовых растворов. *Диффузионное медленное рассеивание УВ за счет концентрационных градиентов веществ происходит всегда и во всем объеме осадочных пород.* Большинство жидких УВ и битуминозных веществ задерживаются на капиллярных барьерах и образуют нефтяные и газоконденсатные месторождения. Газы перемещаются сквозь осадочный разрез, притормаживая в капиллярных ловушках и формируя фазовую неоднородность месторождений [30].
9. Движущиеся из глубин Земли перегретые флюиды усиливают активную генерацию газообразных и жидких УВ из керогена осадочных пород, и без того происходящую в осадочных породах

в зонах газо- и нефтегенерации с ростом температуры. Субкритические условия облегчают термолиз и переход УВ из полимерного (в составе керогена) в подвижное состояние [19, 26]. Вновь образующиеся УВ питают мигрирующие потоки веществ, обеспечивая их непрерывность.

Затухание потоков УВ-флюидов  
(температуры ниже 100...80 °С)

10. При отсутствии подходящих ловушек потоки УВ перемещаются выше по разрезу, постепенно затухая и рассеиваясь в толще пород, или по зонам разломов достигают поверхности Земли. В приповерхностных слоях формируются латеральные и вертикальные геохимические поля рассеивания веществ, относящиеся к категории *фоновых приповерхностных геохимических полей*.
11. С момента, когда УВ оказались захваченными капиллярными ловушками и сформировали залежи углеводородов, начинается относительно более спокойная эволюция УВ-флюидов. Но движение флюидов полностью не прекращается никогда, а лишь притормаживается барьерами ловушек. В *тектонически активных районах* периодически возникают условия для быстрого *струйного переформирования залежей* или даже полного их рассеивания. Углеводороды «уходят» из залежи оставляя после себя асфальтеновые следы бывших водонефтяных и нефтегазовых контактов. Формы движения — водные или газовые растворы и свободнофазовое движение, переходящее, по мере истощения источника, в струйно-диффузионное и диффузионное рассеяние. В относительно *тектонически спокойных районах*, существенную роль играют более медленные формы массопереноса, такие как *диффузионное рассеяние и, возможно, осмотический поток*, протекающие во всем объеме перекрытий пород. Газовые УВ более подвержены диффузионному рассеиванию через плохопроницаемые породы перекрытий, чем жидкие. Поэтому значительные газовые месторождения обязательно должны иметь, наряду с мощной перекрывающей коллектор крышкой, соответствующий по производительности подпитывающий очаг, который бы по подводящим каналам восполнял потери УВ в результате диффузионного рассеяния. Диффузионные потоки слабы, но действуют всегда и во всем объеме перекрытий и уносят огромные массы веществ (до 100...200 тыс. т/км<sup>2</sup> за 1 млн л отмечено на месторождениях [31], при средних оценках общей дегазации Земли 500...1000 тыс. т/км<sup>2</sup> за 1 млн л [32]).
12. Среди сил, активизирующих диффузионное рассеивание и слабые струйные перетоки УВ из/внутри ловушек, наряду с градиентами давления и температуры, значимость имеют концентрационный потенциал флюидов и сла-

бые электрокинетические поля, осмотическое и электрофоретическое давление [33].

13. При рассмотрении процессов, происходящих с УВ в надпродуктивных отложениях, следует обратиться к классической физико-химической модели залежи [6]. Согласно модели, залежь является локальным источником термобарического и физико-химического воздействия на окружающие породы. Мигрирующие из залежи УВ, окисляясь с образованием различных химических соединений, вызывают изменения вещественного состава и физических свойств надпродуктивных отложений. Так как УВ и продукты их окисления имеют значительную миграционную подвижность, такие изменения пород в области залежи прослеживаются до земной поверхности и проявляются в виде *аномальных значений их физических и химических параметров*.

### Заключение

Важнейшие практические следствия предложенной схемы миграции углеводородов:

1. Месторождения нефти и газа тесно связаны с нефтематеринскими толщами осадочных бассейнов, а также с гидротермальными системами, особенно с участками рифтогенеза и субдукции литосферных плит.
2. Проявление современной вертикальной миграции флюидных систем отражается в геохимической зональности осадочного чехла и приповерхностных отложений, где устанавливаются углеводородные, физические и химические аномалии над месторождениями нефти и газа. Остается не выясненным ряд вопросов, имеющих теоретическое и практическое значение:
  1. Возможно ли перемещение жидких углеводородов состава C<sub>8</sub> и выше, составляющих «тело нефти», на значительные расстояния по вертикали, подобно углеводородным газам, в условиях многослойной системы горных пород?
  2. Способны ли тяжелые нефтяные углеводороды к активной диффузии через капиллярные барьеры флюидопоров, либо перемещение происходит в виде струйных течений и периодических флюидных прорывов?
  3. Какие жидкие нефтяные углеводороды могут быть обнаружены в приповерхностных горизонтах разреза, как диффундирующие из нефтяной залежи?

Авторы настоящего обзора рассчитывают получить ответы на ряд перечисленных вопросов в процессе своих исследований в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2011 гг. Важнейшим практическим результатом исследований будет уточнение набора геохимических индикаторов приповерхностных горизонтов, которые могут считаться надежными показателями наличия залежей нефти и газа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гордадзе Г.Н., Грунис Е.Б., Соколов А.В. и др. К вопросу поисков залежей нефти с применением прямых геохимических методов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2004. — № 4. — С. 54–58.
- Бондарев В.Л., Миротворский М.Ю., Облеков Г.И. и др. Геохимические методы при обнаружении и локализации залежей углеводородных газов (УВГ) в надпродуктивных отложениях газоконденсатных месторождений п-ва Ямал // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2005. — № 11. — С. 17–22.
- Якимов А.С. Комплексирование «легких» геофизических и геохимических методов на поздних стадиях освоения нефтегазоносных провинций // Нефтяное хозяйство. — 2006. — № 4. — С. 96–100.
- Исаев В.И., Коржов Ю.В., Лобова Г.А., Ярков Д.М. Геохимическая оценка нефтегазоносности локальных ловушек // Геоинформатика. — 2009. — № 2. — С. 54–61.
- Арье А.Г. Генерация и первичная миграция углеводородов в глинистых нефтегазоматеринских толщах // Геология нефти и газа. — 1996. — № 7. — С. 4–11.
- Справочник по геохимии нефти и газа / под ред. С.Г. Неручева. — СПб.: Недра, 1998. — 576 с.
- Баженова О.К., Бурлюк Ю.К., Соколов Б.А., Хаин В.Е. Геология и геохимия нефти и газа. — М.: ИЦ «Академия», 2004. — 415 с.
- Попов С.А., Исаев В.И. Моделирование процессов генерации и эмиграции углеводородов // Известия Томского политехнического университета. — 2010. — Т. 316. — № 1. — С. 108–113.
- Арье А.Г. Роль межфазовых взаимодействий в процессе вторичной миграции нефти и газа // Геология нефти и газа. — 1996. — № 2. — С. 9–13.
- Высоцкий И.В., Высоцкий В.И. Формирование нефтяных, газовых и конденсатногазовых месторождений. — М.: Недра, 1986. — 228 с.
- Дюнин В.И., Корзун А.В. Гидрогеодинамика нефтегазоносных бассейнов. — М.: Научный мир, 2005. — 524 с.
- Соколов Б.А. Феноменальные особенности нефтегазовой геологии // Соросовский образовательный журнал. — 1998. — № 9. — С. 66–72.
- Вассоевич Н.Б. Теория осадочно-миграционного происхождения нефти (исторический обзор и современное состояние) // Известия АН СССР. Сер. геол. — 1967. — № 11. — С. 135–156.
- Конторович А.Э., Парпарова Г.М., Трушков П.А. Метаморфизм органического вещества и некоторые вопросы нефтегазоносности (на примере мезозойских отложений Западно-Сибирской низменности) // Геология и геофизика. — 1967. — № 2. — С. 16–29.
- Schumacher D. Surface geochemical exploration for oil and gas: New life for an old technology // The leading Edge. — 2000. — № 3. — Р. 258–261.
- Конторович А.Э. Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности. — М.: Недра, 1976. — 248 с.
- Peters K., Moldovan J. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments. — New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993. — 363 p.
- Хаин В.И. Нефтегазоносность и тектоника // Геология нефти и газа. — 1998. — № 10. — С. 5–7.
- Ларин В.И. Образование и интенсивность формирования залежей нефти и газа // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2007. — № 3. — С. 54–59.
- Вышемирский В.С., Даниленко С.В., Конторович А.Э. и др. Прямые геохимические методы поисков месторождений нефти и газа в условиях Западной Сибири // Геология и проблемы поисков новых крупных месторождений нефти и газа в Сибири / под ред. А.Э. Конторовича и В.С. Суркова. — Новосибирск: СНИИГиМС, 1996. — С. 108–110.
- Шахновский И.М. Формирование залежей нефти и газа в нетрадиционных резервуарах // Геология нефти и газа. — 1997. — № 9. — С. 38–41.
- Коржов Ю.В., Головкин А.К. Изменение состава моно- и биаренов при моделировании фильтрации нефти через породы // Геохимия. — 1994. — № 10. — С. 1503–1509.
- Чжан Иган, Чжао Лихуа. Миграция углеводородов и классификация нефтяных систем // Геология нефти и газа. — 1998. — № 3. — С. 36–41.
- Исаев В.И., Коржов Ю.В., Романова Т.И., Бочкарева Н.М. Оценка продуктивности локальных ловушек по составу тяжелых углеводородов в приповерхностных отложениях центральной части Западно-Сибирской плиты // Геофизический журнал. — 2006. — Т. 28. — № 6. — С. 58–74.
- Hunt J.M., Keith P.Ph., Kvenvolden A. Early developments in petroleum geochemistry // Organic Geochemistry. — 2002. — № 33. — Р. 1025–1052.
- Бушнев Д.А., Бурдельная Н.С., Валяева О.В., Савельев В.С. Продукты термотрансформации керогена горючего сланца в условиях проточного пиролиза в среде бензола // Геохимия. — 2005. — № 11. — С. 1238–1245.
- Трофимов В.А. Глубинные сейсмические исследования МОГТ как инструмент оценки перспектив нефтегазоносности и поисков крупных скоплений углеводородов // Геология нефти и газа. — 2008. — № 4. — С. 55–63.
- Дмитриевский А.Н., Баланик И.Е., Донгарян Л.Ш. и др. Современные представления о формировании скоплений углеводородов в зонах разуплотнения верхней части коры // Геология нефти и газа. — 2003. — № 1. — С. 2–8.
- Тараненко Е.И., Герасимов Ю.А., Фарах С.Ф. Современные аспекты вертикальной зональности в нафтидогенеза // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2008. — № 9. — С. 4–10.
- Чжиизюнь Цзинь. Закономерности строения и размещения средних и крупных нефтегазовых месторождений Китая // Геология нефти и газа. — 2007. — № 1. — С. 46–53.
- Вышемирский В.С., Конторович А.Э. Оценка масштабов истощения нефтяных залежей во времени // Геология нефти и газа. — 1997. — № 8. — С. 4–8.
- Валяев Б.М. Углеводородная дегазация земли и генезис нефтегазовых месторождений // Геология нефти и газа. — 1997. — № 9. — С. 30–37.
- Иванников В.И. Газоосмотический массоперенос дисперсно-рассеянных углеводородов в породах-коллекторах // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2007. — № 6. — С. 60–62.

Поступила 09.09.2010 г.