

# ПАРАДОКСЫ ТЕОРИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ КАК ОСНОВА НОВОГО ПОДХОДА К ПРОГНОЗУ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

А.А.ОЗОЛ

доктор геолого-минералогических наук, ЦНИИгеолнеруд, Казань

В связи с сокращением фонда легкооткрываемых месторождений и вызванным этим снижением результативности их поисков необходимо применение новых методов прогнозно-поисковых работ. Традиционное применение метода актуализма даже с учетом необратимого характера эволюции геологических процессов недостаточно эффективно, так как в геологической истории неоднократно случались непредсказуемые события (Гилд, 1986), например, экологические катастрофы, приводившие к массовому накоплению биоса, или столкновение Земли с метеоритом, вызвавшее появление на границе мезозоя и кайнозоя иридиевых аномалий (Ньюэлл, 1986), существенно менявшие геохимическую обстановку и характер протекания процессов нефтегазо- и рудообразования. Отсутствие достаточно полной информации о реальной обстановке в тот или иной отрезок геологического времени вносит в прогнозирование элемент случайности, значительно снижая его достоверность. Поэтому для повышения уровня научного обоснования прогнозов все большее значение приобретает создание достоверных генетических моделей месторождений, учитывающих элемент случайности (Озол, 1987, 1997). В связи со спецификой процессов нефтегазо- и рудообразования для повышения эффективности поиска месторождений необходимы принципиально новые разработки, направленные на решение некорректных задач путем создания весьма сложных и наукоемких математических моделей месторождений. С этих позиций широкие перспективы открываются при применении в геологии теории нелинейных явлений, вытекающих из нее теорий самоорганизации и катастроф и создании на их основе новой методологии прогноза месторождений полезных ископаемых.

Подобно концепции плитной тектоники, совершившей революционный переворот в геологии, теории самоорганизации и катастроф, по мнению А.А.Самарского и С.П.Курдюмова (1989), совершили аналогичный переворот в математике. Их значение в геологии заключается, в частности, в том, что они позволяют придать генетическим моделям месторождений, включающим элемент случайности, детерминированный характер, при котором причины и следствия оказываются связанными функциональной зависимостью, выявляемой при решении системы нелинейных дифференциальных уравнений.

Как отмечают А.А.Самарский и С.П.Курдюмов, наука, поскольку она ныне вынуждена заниматься проблемами неведомой прежде сложности, подошла к тому рубежу, за которым успешно работавшие ранее методы познания становятся непригодными. Сложность научных проблем связана прежде всего с нелинейностью многих природных явлений, проявляющейся в многовариантности происходящих в природе процессов и многообразии возможных ответов на вопросы, возникающие при исследовании этих процессов. Все это порождает казальное бы непреодолимые трудности, кажущуюся непредсказуемость направления, в котором потечет тот или иной процесс. Однако возникающие трудности удается преодолеть на основе методологического подхода, в котором представление о нелинейности окружающей природной среды органически сочетается с математическим моделированием, проводимым с помощью мощных компьютеров.

В соответствии с теорией нелинейных систем природной среде свойственна сверхсложная организация. Вследствие этого она выступает как хаос – беспорядочное, слу-

чайное скопление составляющих ее элементов. В открытых системах, существующих в такой хаотической, бесструктурной среде, могут возникнуть упорядоченные структуры. Для этого в этих системах необходимо возбудить внутренние силы, которые бы привели к созданию упорядоченных структур, адекватных той или иной среде, устойчиво самоподдерживающихся и рационально функционирующих в этой среде.

В нелинейных системах не сохраняет свою силу классический принцип суперпозиций: результат одновременного воздействия нескольких факторов неравнозначен сумме результатов, вызываемых теми же факторами, если они действуют по отдельности. Поэтому выявление причинно-следственных связей путем изучения каждой из причин конкретного явления (например, образования месторождений полезных ископаемых) отдельно, изолированно от других причин, оказывается непродуктивным. Эти причины только в комплексе друг с другом вызывают то или иное следствие. В частности, только комплексное действие нескольких факторов может обусловить образование месторождения, предопределяя полигенную природу слагающего его минерального вещества.

Одновременное воздействие на природные системы двух или более факторов бывает эквивалентным сумме их воздействий, происходящих по отдельности, лишь до определенной границы. Затем система скачком меняет свои свойства, происходит ее качественное изменение. Возникают так называемые режимы с обострением, характеризующиеся резким нарастанием во времени некоторых параметров среды, приводящим к локализации природных, в том числе геохимических процессов. Природная среда «пятнает себя» особыми точками, и хаос, подобно клею, соединяет между собой отдельные процессы, приводящие, в частности, к образованию месторождений.

Характерной особенностью окружающего нелинейного и многовариантного мира является раздвоение, ветвление – бифуркация, употребляемая для обозначения всевозможных качественных перестроек различных объектов при изменении параметров, от которых они зависят. При бифуркации меняется число решений нелинейных уравнений. При этом все близкие их решения «притягиваются» к определенному множеству точек – аттракторам. Некоторые из них имеют очень сложное строение и обладают весьма необычными свойствами, в связи с чем они называются странными.

Природные процессы, моделируемые системой нелинейных дифференциальных уравнений, могут развиваться сразу по нескольким различным направлениям. В связи с этим необходимо найти такие варианты организации процессов в природной системе, которые бы идеально подходили ей.

В открытой системе в результате самоорганизации природной среды образуются так называемые диссипативные структуры, параметры которых определяются собственными свойствами системы. Так, например, неустойчивость системы, возникающая под действием конвективных потоков, функционирующих в нефтегазогенерирующих и рудообразующих системах, приводит ее в неравновесное состояние. Благодаря этому из хаоса формируется порядок. В случае неравновесных систем в зоне действия притягивающего множества и только в зоне его действия при образовании диссипативных структур устраняются все лишние, случайные эффекты, мешающие системе упорядочиться.

Между хаосом и порядком существуют глубокие связи, которые удастся выявить, зная, как природные системы функционируют и реагируют на внешние условия. Самоорганизация (порядок) возникает на пересечении свойств системы и ее окружения, на пересечении различных по своей направленности природных процессов, приводящем к скачкообразному переходу из непрерывного в дискретное.

Скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного ответа системы на изменение внешних условий, в математике стали называться катастрофами, а новый математический аппарат, описывающий скачкообразный переход из непрерывного в дискретное – теорией катастроф (Арнольд, 1990). В отличие от математического анализа, основанного на изобретении Ньютоном дифференциального и интегрального исчисления, позволяющего исследовать лишь непрерывные процессы, теория катастроф дает универсальный метод исследования всех скачкообразных переходов, внезапных качественных изменений. Математическая модель теории катастроф позволяет показать, что обычно наблюдаемые в природе процессы накопления и преобразования органического вещества или изоморфного и сорбционного рассеяния рудного

вещества, происходящего в ходе его магматической или осадочной дифференциации, столкнувшись с каким-либо другим процессом, внезапно нарушаются, приобретая лавинный, скачкообразный характер. В результате нефтегазогенерирующая и рудообразующая системы теряют устойчивость, вследствие чего создаются необходимые предпосылки для образования месторождений нефти, газа или других видов минерального сырья с высоким содержанием полезных компонентов в руде.

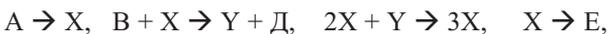
Согласно существующим представлениям о неустойчивостях и катастрофах в природе и технике (Томпсон, 1985), устойчивое равновесие при изменении параметров системы может стать неустойчивым, как это достаточно отчетливо видно на примерах термодинамической самоорганизации химических систем. Нефтегазогенерирующая и рудогенерирующая системы находятся в неустойчивом состоянии. При изменении параметров, от которых они зависят, эти системы могут претерпеть качественные перестройки. В результате случайного воздействия такие системы, будучи нелинейными, легко переходят в одно из нескольких возможных новых состояний.

В обычно наблюдаемых природных процессах, например, при вулканических извержениях или осадочном породообразовании, сохраняет свою силу классический принцип суперпозиции: прилагаемые усилия (флюидонасыщение магмы, интенсивность выветривания и т. д.) и их результаты (объем пирокластического и осадочного материала) находятся в прямой зависимости. В отличие от них, в нефтегазогенерирующих и рудогенерирующих процессах прямая зависимость проявляется далеко не всегда, как это отчетливо видно, например, при сопоставлении массы органического вещества, содержащегося в осадочных толщах, и запасов нефти и газа, сосредоточенных в их залежах, приуроченных к этим же толщам.

При выявлении причинно-следственных связей между нефтегазо- или рудообразующими системами, находящимися в неустойчивом состоянии, и внешней средой необходимо исходить из представления о нелинейности и мновариантности процессов, происходящих в этих системах, с вытекающими отсюда нередко парадоксальными выводами. Трудности при интерпретации природных процессов, в том числе нефтегазо- и рудогенерирующих, возникающие при потере ими устойчивости, как уже отмечалось, могут быть устранены с помощью теорий самоорганизации и катастроф при использовании, в частности, модели термодинамической самоорганизации в первично однородной среде.

### Термодинамическая самоорганизация геохимических систем

К одной из самых простых моделей пространственной и временной самоорганизации относится тримолекулярная (брюсселяторная) модельная система, предложенная Дж. М. Томпсоном (1985), которая учитывает следующие гипотетические реакции:



где А, В, Д, Е – начальные и конечные продукты реакций, концентрации которых предполагаются постоянными.

Постулируется, что реакции необратимы, а их скорости равны единице. Реагирующая система является открытой: химические вещества А и В непрерывно поступают в систему, а Д и Е постоянно из нее выходят.

Обозначая концентрацию химических веществ теми же буквами, что и сами вещества, получим, что скорость образования вещества X в первой реакции равна А, скорость исчезновения вещества X во второй реакции равна ВХ; суммарная скорость образования вещества X в третьей – тримолекулярной реакции равна X<sup>2</sup>Y и, наконец, скорость исчезновения вещества в четвертой реакции равна X (Томпсон, 1985).

Описанные реакции можно представить в виде системы из двух нелинейных уравнений кинетики реакций:

$$dX/dt = A - (B+1)X + X^2Y, \quad dY/dt = BX - X^2Y.$$

Решая уравнения, можно определить эволюцию X и Y во времени при заданных постоянных А и В. Приравняв скорости реакций к нулю, получим, что  $X = A$ ,  $Y = B/A$ , а представив X и Y в виде:

$$X=A+x, Y=B/A+y,$$

где  $x$  и  $y$  – отклонения концентрации от равновесных значений, можно получить систему уравнений:

$$x = x(B - 1) + y(A^2) + x^2(B/A) + 2xyA + x^2y,$$

$$y = x(-B) + y(-A^2) - x^2(B/A) - 2xyA - x^2y.$$

Для анализа устойчивости потребуются только подчеркнутые члены. При их преобразовании, принимая величину  $A$ , равной 1, и рассматривая концентрацию  $B$  как управляющий параметр, Дж. М. Томпсон (1985) пришел к выводу, что потеря устойчивости состояния равновесия, обычно называемая бифуркацией Хопфа, произойдет при  $B = 1 + A^2$ . При  $A = 1$  и  $B < 2$  наблюдается устойчивый, а при  $A = 1$  и  $B > 2$  неустойчивый фокус, приводящий в итоге к скачкообразному изменению режима системы, сопровождаемому массовым осаждением вещества.

В качестве объектов возможного применения тримолекулярной (брюсселяторной) модели в геологии могут стать нефтегазогенерирующие и рудогенерирующие системы, применительно к последним – уникальное Норильское медно-никелевое месторождение, образованное в результате внедрения ультрамафит-мафитовой магмы в терригенную толщу с прослоями сульфатных (гипс-ангидритовых) пород, а также месторождения флюорита в Северогерманской или боратов в Прикаспийской впадинах, образованные в результате взаимодействия морской воды соответственно на стадии карбонатной и калийно-магниевого седиментации с газовой-гидротермальными растворами, эпизодически разгружавшимися в эти впадины по глубинным разломам. В том и других случаях процессы минералообразования в ходе магматической и осадочной дифференциации, приобретая, в силу случайных событий, лавинный, скачкообразный характер, становятся рудогенерирующими.

В нефтегазогенерирующих системах, в которых концентрацию органического вещества в осадочных толщах можно принять равной 1, при увеличении интенсивности притока глубинных флюидов, содержащих углеводороды, до критической величины, условно принимаемой как равную 2, начнется быстрое нарастание самоподдерживающихся реакций взаимодействия органического вещества с глубинными флюидами, содержащими углеводороды, приводящее к образованию нефти и газа. В рудообразующих системах, например, на Норильском медно-никелевом месторождении, в которых содержание  $Cu$  и  $Ni$ , находящихся в интрузивных породах в виде изоморфной примеси, макро- и микроминеральных включений, также принимается равным 1, при увеличении масштабов ассимиляции сульфатных пород и соответственно возрастания концентрации серы в магме до критической величины, равной 2, начнется быстрое нарастание интенсивности процесса ликвации магмы с отделением сульфидных расплавов, приводящее к образованию залежей медно-никелевых руд.

В рамках учения о самоорганизующихся системах концепция случайности начинает играть все большую роль. Поскольку нефтегазо- и рудообразующие процессы относятся главным образом к категории случайных, возникает реальная возможность представления генетических построений в виде математических моделей и, следовательно, создание теоретической основы для дальнейшего развития геологии, в частности, учения о полезных ископаемых.

### **Теория катастроф как новый метод прогноза нефтегазоносности**

Согласно осадочно-миграционной теории нефтегазообразования (Вассоевич, 1986), в осадочных толщах изначально отлагается потенциально нефтегазоматеринский осадок и лишь затем генерируются нефть и газ. Нефтегазообразование – длительный процесс, протекающий многие миллионы лет в течение нескольких этапов, первый из которых, охватывающий стадии седиментогенеза, диагенеза и начального катагенеза, знаменует накопление осадков, богатых органическим веществом. На этом этапе происходит возникновение и созревание микронепфти. На следующем эта-

пе, в стадии катагенеза, благодаря повышению температуры до 60–150°C наблюдается битуминизация осадков с одновременным образованием новых порций микро-нефти. Осадочный бассейн становится нефтеносным. При дальнейшем погружении нефтеносных отложений на глубине от 1,5–2 до 5–6 км в зоне с повышением температуры до 150–200°C происходит генерация метана и других углеводородных газов. В целом нефтегазообразование представляется не каким-то особым, требующим специальных условий, а обычным, достаточно распространенным в природе процессом, органически связанным с литогенезом. По В.И.Вернадскому (1927), наибольшая масса нефти содержится в битуминозных сланцах в диффузно-рассеянном состоянии, занимая, как это отмечает И.М.Губкин (1957), огромные пространства.

В дополнение к представлениям Н.Б.Вассоевича следует напомнить о фактах поступления углеводородов в нефтегазоносные отложения с глубины и их миграции из этих отложений вверх, к земной поверхности. Подток и истечение углеводородов, являясь неотъемлемым атрибутом нефтегазоносных отложений, может происходить непрерывно и дискретно.

Непрерывное, постепенное просачивание флюидов, содержащих углеводороды, по разуплотненным проницаемым зонам, наблюдаемое в настоящее время, отмечалось и в геологическом прошлом. В настоящее время оно проявляется, например, в районе Апшеронского полуострова, 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). Подпитка углеводородами залежей нефти и газа, очевидно, может осуществляться лишь по активным в настоящее время зонам деструкции и разуплотнения фундамента, фиксируемым по термическим аномалиям. При подпитке залежей нефти и газа восходящим потоком углеводородов (в случае длительной их эксплуатации и высокого уровня годового оборота нефти) реализуется возможность их возобновляемой аккумуляции. Без подпитки залежей нефти и газа их сохранность в течение многих миллионов лет представляется маловероятной, так как покровная толща, как правило, бывает разбита многочисленными трещинами, служащими путями вертикальной и радиальной миграции углеводородов.

Дискретное, массовое вторжение флюидов, содержащих углеводороды, по разуплотненным проницаемым зонам происходит в периоды тектоно-магматической активизации, когда резкая интенсификация процесса их восходящей миграции приводит, согласно математической теории катастроф Арнольда (1990), к скачкообразному, качественному изменению режима системы. При этом устойчивый установившийся режим нефтегазообразования неизбежно должен был нарушиться, в результате чего становилось возможным «обвальное» нефтегазообразование (Озол, 2002; Озол и др., 2002).

В соответствии с теорией катастроф в ответ на изменение внешних условий происходит резкое, скачкообразное изменение режима системы. Выявление некоторых признаков таких качественных изменений представляется главным в решении проблемы генезиса нефти и газа. Если такие признаки удастся обнаружить, то с помощью математического аппарата теории катастроф можно предсказать некоторые из них. А это, в свою очередь, должно повысить достоверность прогноза месторождений нефти и газа.

Устойчивый установившийся режим системы обычно нарушается, столкнувшись с неустойчивым. Применительно к процессам нефтегазообразования скачкообразных, качественных изменений следует ожидать в периоды тектоно-магматической активности при массовом поступлении в нефтегазоносные отложения глубинных флюидов, содержащих углеводороды, приводящим в итоге к «обвальному» нефтегазообразованию.

Характеризуя нефтегенерирующие системы, А.Э.Конторович и В.Р.Лифшиц (2002) отметили присущие им свойства, важнейшим из которых является их функционирование в качестве открытых систем, в условиях которых и только в которых возможно, согласно законам термодинамики, возникновение в первоначально однородной среде пространственной и временной самоорганизации. Нефтегенерирующие системы, будучи составной частью стратисферы, обмениваются с внешней средой энергией и веществом. В некоторые части системы происходит подток углеводоро-

дов с глубины, из других ее частей наблюдается отток углеводородов к поверхности. Связь нефтегенерирующих систем с окружающей средой находится в зависимости от общей массы, концентрации и состава органического вещества, содержащегося в осадочной толще, геодинамической обстановки и т. д. При этом лишь небольшая часть углеводородов, генерируемых в стратиффере и мантии, аккумулируется в залежи. Более того, из уже образовавшихся залежей происходят перетоки углеводородов, инфильтрационное и диффузное их рассеивание, окисление и биodeградация нефтей.

Будучи открытой, нефтегенерирующая система находится в неравновесном состоянии, обусловленном перетоком энергии и вещества между ней и окружающей ее средой. В таком состоянии система приобретает способность к изменениям. Если величина случайного возмущения, действующего на нефтегенерирующую систему, превысит некоторый порог, то даже при небольшом локальном отклонении она перейдет в новое состояние. Потери устойчивости способствует проявление внутренней дифференциации вещества между различными частями системы и, как следствие этого, возникновение ее асимметрии, которая выражается, в частности, в распределении месторождений по запасам нефти в нефтегазоносных бассейнах мира в соответствии с усеченным распределением Парето. Асимметрия системы, как известно, усиливает ее неустойчивость. Это обстоятельство в сочетании со случайным воздействием, вызванным вариациями геодинамической и соответственно геохимической обстановок на различных по своему типу окраинах литосферных плит, обуславливает широкое разнообразие проявления нефтегенерирующих процессов.

При создании математической модели такой сложной динамической системы, какой является нефтегенерирующая система, А.Э.Конторович и В.Р.Лифшиц (2002), исходя из данных о распределении по стратиграфическим комплексам запасов нефти, накопившихся за последние 600 млн. лет, пришли к выводу о существовании детерминированного механизма, управляющего процессом эволюции нефтеобразования в истории Земли, который, имея хаотичный характер, может быть описан системой из шести уравнений, а без учета перераспределения нефти за счет ее вертикальной миграции – системой из четырех уравнений. В качестве переменных, которые могут контролировать интенсивность процесса нефтеобразования, ими указаны, в частности, две. Это, во-первых, циклический характер накопления глинистых, кремнисто-глинистых и карбонатно-кремнисто-глинистых отложений, уникально обогащенных органическим веществом, и, во-вторых, геодинамическая эволюция Земли, проявлявшаяся согласно концепции плейтектоники в становлении и деструкции суперконтинентов.

Конкретизируя эти положения, по-видимому, следует подчеркнуть, что на древних и молодых платформах, как и на пассивных окраинах континентов, максимальная интенсивность процесса нефтеобразования достигалась на начальной стадии цикла Уилсона – в зонах раздвигания литосферных плит во время образования авлакогенов, рифтов. Это имело место на Русской платформе и Западно-Сибирской плите. С другой стороны, на активных окраинах континентов с наибольшей интенсивностью процесс нефтеобразования происходил на конечной стадии цикла Уилсона в процессе поглощения литосферных плит – в зоне Заварицкого-Беньофа. Это имело место на юге Прикаспийской впадины, в странах Персидского залива и т. д. С изменением характера взаимодействия литосферных плит связаны такие переменные, контролирующие интенсивность процесса нефтегенерации, как изменение интенсивности глубинной дегазации, химический состав глубинных флюидов, содержание в них водорода и углеводородов, особенности процесса серпентинизации ультрабазитов и т. д.

Одновременное воздействие на природные процессы двух или более факторов, например, обогащение отложений органическим веществом и деструкция суперконтинентов, бывает, как известно, эквивалентным сумме их взаимодействий лишь до определенной границы, после чего возникают режимы с обострением, характеризующиеся резким нарастанием определенных параметров среды, приводящим к локализации геохимических, в том числе нефтегазогенерирующих процессов. Как отмечалось на Всероссийской конференции «Приоритетные направления поисков крупных и уникальных месторождений нефти и газа» (Москва, 2003), в результате обработки сейсмических данных, позволяющей увязать внешнее сейсмическое воздействие на среду с уровнем ее энергетического состояния, было установлено, что на Южно-Татарском своде Волго-Уральской и Камовском – Восточно-Сибирской провинций в

пределах полей глубинных сейсмических напряжений возникают, по данным В.И.Шарова (2003), достаточно четко выраженные аномалии. Отражая самоорганизацию неравновесных систем и их переход в упорядоченное состояние, такие аномалии позволяют увязать режимы с обострением, вызывающие локализацию геохимических процессов, с «обвальным» нефтегазообразованием. Режимы с обострением приводят к концентрированию в особых точках (фокусах системы) энергии и вещества, по данным И.И.Нестерова (2003) – парамагнитных центров вокруг ядер углерода органического вещества и возникновению мощных электромагнитных полей с потоками электронов, которые взаимодействуют с неспаренными электронами ядер углерода с образованием жидких и газообразных углеводородов. В конечном итоге все это обуславливает формирование крупных углеводородных залежей.

В настоящее время на глубине 10–25 км установлены так называемые коровые волноводы, представляющие собой зоны повышенной раздробленности и трещиноватости, заполненные флюидами (Дмитриевский и др., 2003). Будучи диссипативными структурами, коровые волноводы являются важным источником поступления энергии и вещества с глубины к поверхности, идущих на образование месторождений нефти и газа.

Один из парадоксов нелинейных явлений – режим с обострением, приводящий к концентрированию энергии и вещества в локальных тектонических структурах (фокусах нефтегазогенерирующих систем), уже нашел применение в практике нефтегазопоисковых работ при пространственном дифференцировании изображения рельефа, позволяющем наметить морфоструктурные узлы, по которым благодаря «туннельному эффекту» (по А.Н.Дмитриевскому) обеспечивается транспорт глубинных флюидов в осадочную толщу. В окрестностях таких узлов, сформированных при пересечении линеаментов первого и второго ранга, на площадях распространения мощной толщи осадочных пород, при соблюдении ряда обязательных условий выделяются районы достоверного залегания крупных месторождений нефти и газа (патент на изобретение № 2112924 РФ).

Необходимо подчеркнуть, что геодинамическая эволюция Земли проявлялась не только в становлении и деструкции суперконтинентов, в возникновении зон глубинных разломов, тектонических и морфоструктурных узлов, по которым из мантии в верхние оболочки Земли поступали углеводороды в ассоциации с ртутью и другими металлами, но и, в соответствии с концепцией плюмтектоники, в зарождении и функционировании так называемых «горячих точек», в качестве которых выступали эндогенные кольцевые структуры. Дело в том, что в транзите энергетических и флюидных потоков в земную кору определяющую роль играет сейсмический слой, расположенный на границе ядро – мантия (Пронин, Башорин, 2002). Из него выбрасываются в верхние оболочки Земли плюмы – восходящие флюидные потоки, являясь высоко подвижной и химически агрессивной фракцией тепло-массопотока, способны создавать сверхвысокое флюидное давление и обуславливать конвекционное течение в мантии с образованием геофизических и геохимических полей. Высокоэнергетическая трансформация глубинных флюидов является одной из основных причин взрывных химических реакций, протекающих в нефтегазогенерирующих системах.

Как показали исследования А.А.Маракушева (1999), импульсы усиления дегазации Земли порождали катастрофические периоды в ее истории. При этом в роли главных каналов поступления глубинных флюидов в осадочную оболочку Земли оказались эндогенные кольцевые структуры. В связи с вышеизложенным есть все основания предполагать существование причинно-следственных связей между импульсами усиления дегазации Земли и эпохами нефтегазообразования, так же как и между эндогенными кольцевыми структурами и месторождениями углеводородного сырья. Эти положения, проливающие свет на во многом еще не ясную картину нефтегазообразования, подтверждаются результатами исследований М.Н.Смирновой (2002), согласно которым главные каналы восходящей миграции глубинных флюидов, содержащих углеводороды, в осадочную оболочку Земли формируются при внедрении астенолитов, разуплотнении земной коры и насыщении ее флюидами. В качестве таких каналов выступают эндогенные кольцевые структуры. Особое значение как пути миграции глубинных флюидов имеют те из них, которые возникают в местах тройного сочленения рифтов.

Поступавшие с глубины, в зонах раздвигания и поглощения плит или по кольцевым структурам, огромные массы флюидов аккумулировались в баровакуумно-реакционных объемах с последующим неизбежным зарождением систем ион-радикальных соединений водород-углеводородного состава (Гринберг, 1980). Из них в дальнейшем формировался весь сложный и многообразный комплекс углеводородов, входящих в состав нефти и газа. В настоящее время получено много углеводородов с одним или несколькими неспаренными электронами, образующих свободные радикалы. Такие углеводороды, обладающие парамагнитными свойствами как следствие магнитного момента спина неспаренного электрона, характеризуются высокой реакционной способностью. В реакционных системах ион-радикальных соединений, наряду с углеводородами типа  $\text{C}_n\text{H}_m$ , относящимися к алкановой группе, присутствуют, хотя и в значительно меньшем количестве, углеводороды типа  $\text{C}_n\text{H}_{m-1}$ , относящиеся к алькильной группе, а совместно с ними – металлоорганические соединения типа  $\text{Hg}(\text{C}_n\text{H}_m)_2$ , содержащие ртуть. Одним из способов получения свободных радикалов является, по Л.Полингу, нагревание диацетина  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2$ , дающего при разложении два радикала  $\text{C}_2\text{H}_5$  и две молекулы  $\text{CO}_2$ , другим – нагревание диметилртути  $\text{Hg}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ , распадающейся с образованием металлической ртути и радикала  $\text{C}_2\text{H}_5$ . Углеводородные, прежде всего метильные, радикалы в связи с их высокой реакционной способностью играют ведущую роль в реакциях химического взаимодействия. Важное значение углеводородных радикалов определяется еще и тем, что при их взаимодействии с ненасыщенными молекулами валентность последних сохраняется, вследствие чего в каждом акте реакции образуется новый радикал, способный к ее дальнейшему продолжению. В результате возникают цепные реакции, которые начинаются, как только в реагирующей системе появляются свободные радикалы. В нефтегазогенерирующих системах это происходит при диссоциации молекул углеводородов под воздействием тепловой энергии при наличии так называемых катализаторов – примесей вещества, молекулы которого, распадаясь или взаимодействуя с молекулами исходных веществ, дают свободные радикалы. В тех случаях, когда в цепных реакциях принимают участие двухвалентные радикалы, то реакция такого радикала с насыщенной молекулой приводит к образованию двух радикалов. А если при взаимодействии одновалентного радикала с насыщенной молекулой образуются двухвалентные радикалы, то вместо одного радикала получаются три (Кондратьев, 1960). Такие реакции, открытые Н.Н.Семеновым, известны как разветвленно-цепные. Непрерывное умножение числа свободных радикалов в ходе разветвленно-цепных реакций приводит к их лавинообразному ускорению, возрастающему по экспоненциальному закону. Наиболее трудной в энергетическом отношении стадией разветвленно-цепной реакции является образование свободного радикала, начинающего реакцию, которое обычно требует высокой температуры. Ее снижение возможно в присутствии соединений, легко распадающихся на свободные радикалы. Это происходит, в частности, в тех случаях, когда в нефтегазогенерирующих системах присутствуют комплексы, состоящие из углеводородов алькильной группы и углекислоты или ртути, которые, как уже отмечалось, под действием тепловой энергии легко распадаются с выделением свободных радикалов. Именно этим во многом объясняется тесная ассоциация нефти и газа с ртутью. Такая ассоциация особенно характерна для их крупных месторождений, при формировании которых генерация углеводородов благодаря присутствию ртути происходит при более низкой температуре и, естественно, в значительно больших масштабах, как это, по-видимому, имело место на Ромашкинском месторождении, в пределах которого достаточно отчетливо выражены геохимические ореолы ртути.

В связи с авлакогенами, рифтами и кольцевыми структурами формируются субвертикальные зоны с аномальными физическими и химическими свойствами, являющиеся каналами для активного тепло- и массопереноса. В пределах таких зон под действием градиентов механических напряжений в осадочном чехле, находящемся над залежами нефти и газа, под влиянием потока жидких и газовых углеводородов, мигрирующих от залежей нефти и газа к земной поверхности, формируются зонально-кольцевые аномалии геофизических и геохимических полей, обусловленные взаимодействием залежей со вмещающими их отложениями. Явление парагенезиса таких аномалий может и должно стать основой комплексирования прямых геофизичес-

ких и геохимических методов на стадии выявления и оценки нефтегазоносных зон и отдельных ловушек с целью определения первоочередных объектов нефтегазописковых работ. При их проведении необходимо максимально использовать органически переплетающиеся информационные возможности геофизических и геохимических методов, последние из которых позволяют не только выявлять аномальные зоны, но и объяснять их природу. Реализация такого подхода путем сопоставления результатов геофизических и геохимических наблюдений с материалами дешифрирования космофотоснимков позволила установить, что в Волго-Уральской провинции к узлам пересечения линейных и кольцевых тектонических нарушений тяготеют зоны аномально высокого нефтегазонакопления. Причем на площадях, прилегающих к рифтогеналям и концентрикам, сосредоточено более 90% запасов нефти и газа (Кузнецов и др., 1980). В Волжско-Камской антеклизе кольцевые разломы группируются в виде кольцевого обрамления вокруг центральной области. Последняя представляет собой единый энергогенерирующий глубинный центр разгрузки внутренних геодинамических напряжений, оказывающий влияние на процессы образования потенциально нефтегазоносных рифогенных комплексов и фиксирующих их радиоактивных аномалий (Степанов и др., 1983).

На территории Татарстана, наряду с Камско-Бельским и Сергеево-Абдуллинским авлакогенами, выявлен целый ряд кольцевых структур. Наибольший интерес среди них, помимо Ромашкинской и Шенталинско-Черемшанской структур, вызывает Юхмачинская, особенно площади, расположенные в зоне наложения на эту кольцевую структуру Алькеевско-Пичкасского грабена, представляющего собой северо-западное окончание западной ветви Серноводско-Абдуллинского авлакогена. При этом наибольшего внимания в этом отношении заслуживают участки, находящиеся вблизи узлов пересечения линейных тектонических нарушений, выступающих в качестве рифтогеналей, с кольцевыми, выступающими в качестве концентриков.

На таких площадях и участках перспективным на поиски залежей нефти и газа относятся рифогенные комплексы. В Волго-Уральской провинции к карбонатным, в том числе рифогенным, комплексам, как известно, приурочено около 30% ресурсов нефти и более 70% газа. Рифогенные известняки выгодно отличаются большой пористостью, обеспечивающей высокую продуктивность и высокую концентрацию ресурсов углеводородов в рифовых ловушках. В связи с этим оценку нефтегазоносности рифогенных комплексов верхнедевонского и турнейского возраста следует рассматривать как одно из важнейших направлений геолого-разведочных работ.

Рифовые массивы должны располагаться в прибортовых частях прогибов или над выступами фундамента внутри прогибов, потенциально нефтегазоносные – на площадях и участках, тяготеющих к узлам пересечения рифтогеналей и концентриков. В пределах Юхмачинской кольцевой структуры наибольший интерес среди рифовых массивов вызывают поднятия, расположенные в бортовых частях Усть-Черемшанского прогиба.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Арнольд В.И.* Теория катастроф. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990.  
*Вассоевич Н.Б.* Геохимия органического вещества и происхождение нефти. – М.: Наука, 1986.  
*Вернадский В.И.* Очерки геохимии. – М.: Л.: Госиздат, 1927.  
*Гилд С.Дж.* В защиту концепции прерывистого изменения // Катастрофы и история Земли. М.: Мир, 1986.  
*Гринберг И.В.* Процессы формирования углеродо- и водородосодержащих флюидов в различных геозонах и проблема глубинного синтеза углеводородов // Дегазация Земли и геотектоника. М.: Наука, 1980.  
*Губкин И.М.* Учение о нефти. – М.: Л.: Гостоптехиздат, 1937.  
*Дмитриевский А.Н., Баланик И.Е., Донгарян Л.Ш., Каракин А.В., Повещенко Ю.А.* Современные представления о формировании скоплений углеводородов в зонах разуплотнения верхней части коры / Геология нефти и газа, №1, 2003.  
*Кондратьев В.Н.* Свободные радикалы – активная форма вещества. – М.: Изд-во АН СССР, 1960.

*Конторович А.Э., Лившиц В.Р.* Детерминированный характер процесса нефтеобразования в истории Земли и его количественные характеристики / Геология нефти и газа, № 1, 2002.

*Кузнецов О.Л., Муравьев В.В., Попсуй-Шапко Г.П., Чахмачев В.Г., Чиркин И.А.* О влиянии геодинамически активных очагов на формирование полей нефтегазоносности седиментационных бассейнов // Докл. АН СССР. Т. 252, №1, 1980.

*Маракушев А.А.* Происхождение Земли и природа ее эндогенной активности. – М.: Наука, 1999.

*Нестеров И.И.* Гигантские залежи нефти в глинистых, глинисто-кремнистых и кремнисто-карбонатных породах седиментационных бассейнов / Приоритетные направления поисков крупных и уникальных месторождений нефти и газа. Тезисы докладов. М., 2003.

*Ньюэлл Н.Д.* Массовые вымирания – уникальные или повторяющиеся явления? // Катастрофы и история Земли. М.: Мир, 1986.

*Озол А.А.* Проблемы прогноза месторождений неметаллов // Сов. геология, 1987, № 10.

*Озол А.А.* Геотектонические и геохимические аспекты прогнозирования месторождений неметаллических полезных ископаемых // Отечественная геология, 1997, №5.

*Озол А.А.* Процессы полигенного нефтегазо- и рудообразования и их экологические последствия. – Казань, 2002.

*Озол А.А., Хайретдинов Ф.М., Назипов А.К., Плотникова И.Н.* Процессы полигенного нефтегазообразования на территории Татарстана. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – М.: ВНИИОЭНГ, №6, 2002.

*Пронин А.П., Башорин В.Н.* Флюидная активность Земли и природные катастрофы, риски / Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ. Материалы Международной конференции памяти академика П.Н.Кропоткина. – М.: ГЕОС, 2002.

*Самарский А.А., С.П.Курдюмов.* Парадоксы многовариантности нелинейного мира – мира вокруг нас. // Гипотезы, прогнозы. Будущее науки. – М.: Знание, 1989, вып. 22.

*Смирнова М.Н.* Кольцевые структуры в контроле каналов миграции углеводородов / Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ. Материалы Международной конференции памяти академика П.Н.Кропоткина. – М.: ГЕОС, 2002.

*Соколов Б.А.* Нефтегазообразование – как фундаментальная геологическая проблема // Геохимия, 1997. № 10.

*Степанов В.П., Боронин В.П., Докучаев Н.А., Богатов В.И., Степанов А.В.* Кольцевые структуры земной коры Волжско-Камской антиклизы. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1983.

*Томпсон Дж. М.Т.* Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. – М.: Мир, 1985.

*Шаров В.И.* Энергетические условия формирования крупных углеводородных полей по данным глубинных сейсмических исследований / Приоритетные направления поисков крупных и уникальных месторождений нефти и газа. Тезисы докладов. М, 2003.