Записки Санкт-Петербургского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова
1992. Т. 134

УДК 159.93:55(07)

С.А.МОРОЗ, Е.П.ЛАРЧЕНКОВ

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КАК СИСТЕМА: ФОРМИРОВАНИЕ НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАССЕЙНА

На примере развития наиболее типичных нефтегазоносных осадочных бассейнов рассмотрен геологический процесс как своеобразная система, имеющая такие важнейшие характеристики, как структура, устойчивость и изменчивость. Определены закономерности неравномерного темпа и мозаичного характера эволюции седиментационных бассейнов.

Любая геологическая материальная система представляет фиксируемый в настоящем результат совокупного пространственно-временного проявления различных процессов. Эволюция таких динамических систем выражается в последовательной смене ряда состояний, начальная и финальная фазы которых связаны на основе действия сквозных закономерностей развития, унаследованного пространственного положения в конкретных временных интервалах. Многими исследователями подчеркивается, что при системном подходе к анализу геологических материальных объектов необходимо не только рассматривать современное состояние анализируемой системы, но и учитывать, что практически любой геологический объект воплощает в себе развернутый в прошлое процесс своего становления, начиная с момента возникновения. Поэтому полнота представлений об объекте во многом зависит от полноты реконструкции истории его развития. Тем самым системный характер любого современного геологического объекта в полной мере может быть выявлен только в связи с системным анализом процессуальных характеристик.

Достаточно всеобъемлющей методологической основой изучения процессов является единство историко-генетического и системно-структурного методов при исследовании развивающихся систем. Выделяются две структуры процессов: синхронная – переплетение параллельно протекающих процессов; диахронная – разновременность состояний, этапов, стадий одного процесса. Соответственно выделяются два метода изучения процессов. Синхроническое отвлечение от изменчивости явлений во времени составляет основу для широкого применения структурно-статического исследования. Диахронический тип исследования требует анализа историко-генетического аспекта процессов.

Особенно большой интерес при разработке методологии изучения процессуальных характеристик вызывает применение такого специфического метода, как структурно-диахронический анализ, основной задачей которого является применение понятий структуры к изучению процессов, поиск структурной упорядоченности, закономерности в развертывании процессов во времени [7].

Важнейшей характеристикой любой системы является структура, которая выражает инвариантный аспект – относительно более устойчивые образования системы. Понятие структуры процесса должно включать представление о том, что все элементы отражают процессуальный характер изменения системы в целом. Элементами такой системы являются временные интервалы определенной продолжительности, в течение которых системы находятся в динамическом равновесии. Им соответствуют последовательно сменяющие друг друга состояния развивающегося объекта. Такой подход будет отражать понимание пространственно-временной природы структурных связей [2, 4].

При изучении процессов существенным, составляющим принципиальную основу, является характер соотношения таких тенденций, как изменчивость и устойчивость. Изменчивость выступает как становление устойчивости, как переход от одной формы устойчивости к другой. При этом изменчивость следует рассматривать не как некую побочную, подчиненную по отношению к движению, к изменчивости форму, а как движение в равновесии и равновесие в движении. Геологические процессы раскрываются в гетерогенности материи, не только отражающей качественное разнообразие мира, но и представляющей универсальное проявление движений через относительную устойчивость. Разнородность – это устойчивость систем, отдельных элементов и параметров, в некотором отношении это цикличность однородного в разнообразном. Диалектически понимаемая устойчивость – это система циклических процессов, выступающая как необходимое основание для направленных качественных изменений.

Устойчивость в онтологическом плане – это фиксация неизменности определенных параметров данной системы относительно какой-либо иной системы. В гносеологическом плане устойчивость рассматривается как фиксация существенных, необходимых, повторяющихся отношений, т.е. как проявление закона. Следовательно, в методологическом отношении устойчивость является основой применения метода [4].

При анализе геологических процессов привлекает внимание стадиальность, инвариантность структур или форм тех систем, которые возникли в течение всей истории Земли. Это проявляется в ограниченном количестве типов осадочных и изверженных пород, а также в универсализме структурно-текстурных особенностей, свойственных породам каждой группы; в небольшом наборе элементарных структурных форм и, по-видимому, типов их сочетаний и т.д. Иными словами, эволюция геологических объектов выражается главным образом в преобразовании их содержания, а не в изменении форм существования. Относительная стабильность структурных форм геологических объектов обнаруживает достаточно четко проявляющуюся цикличность процессов, выступающую как весьма характерная черта геологического движения, как определенная закономерность.

Цикличность является существенной характеристикой временной структуры геологических процессов. Определить цикличность можно как специфический тип закономерностей периодической временной структуры, выражающей стабильное в динамическом. Такие особенности цикличности, как выявление

изоморфизма временных структур, обуславливают ее большое методологическое значение в построении моделей процесса. На основе анализа состояния проблемы цикличности в геотектонике, литологии, нефтегазовой геологии, металлогении, других областях геологии сделаны методологические выводы об особенностях геологической цикличности [5]. При этом раскрывается ее смысл как закономерной характеристики геологических процессов, аккумулирующей структурные их особенности. Сущность выводов можно свести к следующим положениям:

I. Различные геологические процессы обладают циклической структурой. Цикличность проявляется как всеобщее свойство геологического движения, выступает как пространственно-временная характеристика процессов, выражая диалектическое единство в них категорий пространства и времени.

2. Циклическая структура геологических процессов не исключает необратимых изменений, а необходимо предполагает их. Необходимость проявляется в деформированности структуры циклов, в "неполноте" проявления каждого из них. Необратимость развития представляет собой внутреннее свойство циклической структуры.

3. Для геологических процессов весьма характерна определенная иерархичность геологических циклов различных порядков в природы. Как правило, каждый цикл состоит из ряда циклов низшего порядка, а сам, в свою очередь, включается в циклическую структуру большего масштаба и порядка. Тем самым структура развития большой геологической системы представляет собой соотношение циклов разного ранга: развитие выступает как результирующая различного типа циклов.

4. Одной из особенностей геологического цикла является определенная плавность, растянутость во времени. Какие-либо резкие изломы линий не характерны для геологического развития, и даже если проходит скачкообразное наращение качества процессов, этот скачок занимает довольно значительный промежуток времени.

5. Для геологических циклов характерно, что конечная ступень развития не очень отличается от исходной. Это объясняется тем, что качественные изменения отдельных геологических систем, осуществляющиеся в рамках цикла, достаточно жестко ограничены общим геологическим движением материи. Действительно, твердая оболочка Земли с подстилающими слоями в целом динамически консервативна, основные ее параметры стабильны. Поэтому качественные изменения элементов в сфере динамически стабильного целого не должны носить характер слишком сильных "возмущений".

6. Поступательность, направленность в геологических процессах реализуется через ряд последовательных циклов. Принцип полициклизма [6] непосредственно предполагает: незамкнутость каждого цикла, необратимость развития в течение цикла, сложную иерархию циклов различных порядков и природы.

Специфика различных объектов разной природы накладывает отпечаток на структуру процессов, т.е. на особенности соответствующих циклов. Поэтому, определяя специфику циклов соответствующих множеств объектов (физиче-

ских, химических, биологических; меньшего порядка и составных), нельзя, не совершая методологической ошибки, не определять и особенность процессов, в которых они участвуют, с точки зрения их циклической структуры. В геологические циклы включаются, в них пересекаются, соприкасаются физические, химические, биологические циклы. Вычленяя последние, можно продвигаться по пути познания природы геологических циклов.

Геологические закономерности не неизменны – они испытывают определенную эволюцию во времени, в этом заключается одна из существенных особенностей геологического знания. Причем определить характер изменений геологических законов во времени можно с помощью такого взгляда на цикличность, когда циклическая структура развития необходимо включает в себя необратимость и поступательность процессов.

В ходе проявления циклической природы геологических процессов возникают состояния объектов, которые могут рассматриваться как инвариантные. Выявление таких инвариантов должно приводить в ряде случаев к открытию глубоких, фундаментальных законов, сфера действия которых относительно широка. Принципы инвариантности, возможность выявления которых в геологии повышается с применением концепции цикличности, могут способствовать синтезу различных геологических теорий, поскольку представления о цикличности объединяют самые различные отрасли наук о Земле.

На основе изложенных представлений рассмотрим формирование нефтегазоносных бассейнов. Нефтегазоносный бассейн (НГБ) представляет собой открытую гетерогенную динамически равновесную саморегулирующуюся материальную геологическую систему, обеспечивающую образование углеводородов, их перемещение и накопление, а также сохранность этих скоплений в течение отдельных этапов существования системы. Нефтегазоносный бассейн объединяет в единое целое элементы трех геосфер, эти элементы входят в систему в качестве структурных компонентов – субсистем: литомной (элемент литосферы), углеводородной (элемент углеводородной сферы), флюидной (элемент гидросферы). Особенностью двух последних является то, что они не имеют собственного обособленного пространства нахождения, а располагаются в поровотрещинном пространстве литосферы. Поэтому литомная субсистема представляет собой наиболее стабильный компонент, служит как бы "каркасом" всей системы, который определяет ее внешнюю границу и является геологическим телом, где существуют две другие субсистемы, отличающиеся высокой подвижностью. Многие элементы углеводородной и флюидной субсистем тесно взаимосвязаны и активно взаимодействуют, что приводит на отдельных этапах развития системы НГБ к интеграции этих субсистем и возникновению новой – флюидодинамической субсистемы. Однако принадлежность углеводородной и флюидной субсистем к разным геосферам, различия в составе элементов, неодинаковая степень тесноты взаимосвязей на разных этапах эволюции НГБ позволяют в общем случае рассматривать их как отдельные субсистемы.

Структуру системы НГБ нельзя рассматривать как застывшую, неизменную. В каждый из моментов существования НГБ его структура является результатом процессов, а современное ее состояние в значительной мере определяется ис-

торией тектонического развития осадочного бассейна и историей нефтегазообразования.

Несомненно, что на ход эволюции НГБ оказывают влияние многочисленные факторы, проявляющиеся в результате воздействия внешних и внутренних источников энергии. Преобразование энергии в системе НГБ происходит под влиянием гравитационного, электромагнитного, теплового полей, радиоактивного излучения, энергии различных геодинамических процессов (в том числе сейсмоакустических воздействий), в результате протекания разнообразных эндо- и экзотермических процессов. При этом осуществляется взаимодействие геологических, биохимических, физико-химических факторов, в результате чего происходит трансформация вещества системы, наглядно проявляющаяся в диагенетических и катагенетических изменениях осадочных пород (уплотнение, дегидратация, гидрослюдизация монтмориллонита, перекристаллизация, выщелачивание, разуплотнение, образование трещиноватости и т.п.) и органического вещества (биодеградация, углефикация, нефтегазообразование и пр.). Характер сочетания этих факторов, интенсивность их проявления, мера участия в конструктивных и деструктивных процессах могут быть весьма различными, также различной будет их значимость в отдельные временные интервалы развития НГБ. В результате взаимодействия этих факторов возникает определенное сочетание вертикальной зональности литогенеза, типов коллекторов, нефтегазообразования, фазового состояния углеводорода (УВ) (см. таблицу).

Возникновение и развитие системы НГБ определяется сочетанием организационных (конструктивных) и разрушительных (структурно-энтропических) процессов. Оба типа этих процессов протекают взаимосопряженно, определяя стохастический характер общей направленности, которая проявляется за достаточно значительные промежутки времени. Для того, чтобы составить объективное представление о протекании этих процессов во времени, необходимо выявить генетические связи системы НГБ, которые отражают процессы формирования, последовательности развития, превращения структурных компонентов и элементов, а также взаимодействия, трансформации энергии и вещества. В самом процессе развития этой системы можно выделить генетические подсистемы, ими будут этапы эволюции НГБ: инициальный, нефтегазогенерационный, реликтовый, фантомный [8].

Существенной характеристикой временной структуры процессов формирования НГБ является цикличность, которая обусловлена последовательностью сочетаний определенных типов тектонических и флюидодинамических режимов. Характер их сочетания обеспечивает направленность процессов формирования осадочных бассейнов и закономерно связанных с ними процессов образования и преобразования углеводородов и их скоплений. Изучение взаимосвязей цикличности тектонических движений, процессов нефтегазообразования и нефтегазонакопления показало, что в нефтегазоносных бассейнах платформ фиксируется закономерная связь между интенсивностью тектонических движений, скоростью осадконакопления и наличием в разрезе отложений пород, природных резервуаров. При этом выделяются комплексы – доминанты, мощность

Вертикальная зональность нефтегазообразования, распределение залежей и типов коллекторов

Стадийность нефтегазообразования			Зональность распределения залежей УВ	Зональность литогенеза	Типы коллекторов (по Е.Е.Карнюшиной, 1986)			
					Платформа		Складчатая область	
Стадия	Фаза				Кварцевые песчаники	Полимиктовые песчаники и алевролиты	Биогенные и туфобиогенные силициты	Песчаные и алевролитовые туффиты
Биохимического газообразования	–		Газовые	Диагенез	Поровые	Поровые	Поровые	Поровые и трещинно-поровые
Термокаталитического нефтегазообразования	Начальная		Газовые и нефтегазовые	Протокатагенез			Поровые и трещинно-поровые	
	Главная	Нефтеобразования	Нефтяные, газонефтяные, нефтегазовые, газонефтеконденсатные, газоконденсатные	Мезокатагенез	Поровые, трещинно-поровые	Трещинные	Порово-трещинные и трещинные	Кавернозно-трещинные
		Газообразования		Апокатагенез	Порово-трещинные, трещинные			
	Затухания		Газовые					

которых составляет 50 % и более мощности платформенного чехла, содержат они свыше 60 % потенциальных ресурсов углеводородов [3].

С развитием нефтегазоносного бассейна тесно связана эволюция теплового режима его осадочной толщи. А.В.Куделъский с соавторами в полном цикле развития бассейна выделяют три этапа: потенциальной тепловой активности, активный, общей тепловой деградации [I]. Этап потенциальной тепловой активности соответствует инициальной стадии развития бассейна, когда формируются осадочные комплексы и в них происходит тепловая адаптация, постепенное возрастание температур в нижних частях. Сочетание достаточно длительного прогибания и осадконакопления с устойчивым кондуктивным тепломассопереносом обеспечивает переход к активному этапу тепловой эволюции осадочного бассейна. На этом этапе в перераспределении тепла большую роль играет конвективный теплоперенос, что определяет нестационарность этого процесса. Важной чертой этого этапа тепловой эволюции является вовлечение в тепловой баланс внутренних источников энергии осадочных толщ. Этап общей тепловой деградации характеризуется снижением напряженности теплового поля, теплоперенос вновь осуществляется в условиях стационарного режима.

Цикличность тектонических процессов, характер которой в значительной мере связан с типом тектонического режима, определяет процесс формирования таких элементов системы НГБ, как нефтегазоносные этажи, нефтегазоносные комплексы, очаги нефтегазообразования (НГО) и зоны нефтегазонакопления, природные резервуары. Характер цикличности обуславливает неоднократные изменения темпа (активизация, замедление, временное или полное прекращение) этого процесса, обеспечивает возникновение различных структурных планов, способствует формированию разнообразных ловушек, становлению вертикальной зональности типов коллекторов.

Цикличность тектонических движений в значительной степени обуславливает цикличность нефтегазообразования. Цикл НГО охватывает всю совокупность процессов образования и существования углеводородов и их скоплений вплоть до полного разрушения, включая стадии формирования нефтегазоматеринских пород (НМП), интенсивной генерации УВ, аккумуляции нефти и газа в ловушках, разрушения залежей.

Рассматривая этап генерации нефти и газа, можно разделить его на стадию биохимического газообразования и стадию термокаталитического нефтегазообразования. В последней выделяются следующие фазы: начальная, главная, затухания. При последовательном проявлении этих фаз в истории существования нефтематеринских пород может быть намечено (с известной долей условности, поскольку процесс прерывисто-непрерывный и отдельные элементы не всегда четко отделяются друг от друга) следующая временная структура: время накопления (возникновение), время между накоплением и попаданием в очаг нефтегазообразования (созревание), время интенсивной генерации углеводорода (реализация), время до полного истощения нефтегазогенерационного потенциала (истощение).

Среди факторов, влияющих на характер и полноту реализации нефтегазоматеринского потенциала, необходимо отметить важную роль процессов прогибания и воздымания, сопровождающихся осадконакоплением и эрозией. Их различные по длительности соотношения, а также литологический состав отложений, мощность, наличие нефтематеринских пород и их положение в разрезе комплекса (в нижней и средней или верхней части), взаиморасположение нефтематеринских толщ и природных резервуаров – все это может привести к тому, что в истории отдельных нефтепроизводящих пород временная структура процессов возникновения, созревания, реализации и истощения будет различной. Так, реализация (как и вся намеченная последовательность) может завершиться в течение того же цикла прогибания, в котором накопились НМВ или в одном из последующих, что приводит к образованию сингенетичного нефтегазового контакта (НГК).

Формирование НГБ на каждом этапе, отдельной стадии или фазе характеризуется собственным, только ему присущим сочетанием структуроформирующих факторов. Среди довольно большого количества этих факторов имеются доминантные, а из них можно выделить группы тектонических, литологических и флюидодинамических факторов, постоянно проявляющихся в ходе развития НГБ. Тектогенез определяет общую направленность и стадийность развития осадочного бассейна, тем самым существенно влияет на нефтегазообразование, обуславливая возникновение и эволюцию очагов НГО. Тектонические факторы постоянно играют определяющую роль в образовании большинства нефтегазоаккумулирующих элементов, в переформировании или разрушении скоплений. Кроме того, роль этих факторов важна и в литогенезе, однако и собственно литогенетические факторы оказывают существенное влияние на образование нефтегазоматеринских пород и природных резервуаров. А вместе с флюидодинамическими факторами они играют весьма значительную роль в процессах перемещения, накопления и сохранения углеводородов.

В течение отдельных стадий развития в системе НГБ возникает закономерная взаимосвязь, упорядоченное взаимодействие доминантных структуроформирующих факторов, что определяет структуру, функционирование и динамическое равновесие системы. Регулировка и сохранение ее единства обеспечивается обратными связями. Существующая устойчивая совокупность связей между элементами системы НГБ и реакцией на изменение внешних воздействий на нее и взаимодействий внутри системы обуславливает тот или иной тип нефтегеологического режима. Переход от одной стадии или этапа развития бассейна к другим, смена нефтегеологического режима зависят от типа и форм обратных связей, которые могут уменьшать или увеличивать скорость эволюции системы НГБ. Причем для этой системы характерна мозаичная эволюция, поскольку каждая субсистема, их отдельные элементы обладают собственным темпом и скоростью эволюции. Довольно отчетливо это проявляется при сопоставлении катагенетических изменений органического вещества (увосубсистема) и пород (литосубсистема), которые неодинаково реагируют даже на такие ведущие факторы катагенеза, как температура, давление, геологическое время.

Динамическое равновесие в системе НГБ в течение определенных отрезков истории ее развития обеспечивается возникновением и существованием в таком временном интервале относительно стабильной структуры, перестройка которой происходит при переходе системы в новое состояние. При этом в каждой субсистеме может происходить изменение в наборе и сочетании структурных элементов.

Таким образом, структурно-диахронический анализ формирования нефтегазоносных осадочных бассейнов позволяет установить временную изменчивость пространственной структуры бассейна, периодически возникающие устойчивые сочетания доминантных структуроформирующих факторов, типы взаимосвязи и характер перераспределения вещества и энергии между элементами системы на отдельных этапах, стадиях и фазах развития. Все это будет способствовать качественно новому уровню анализа нефтегазоносных объектов, позволит подойти к их формализации, явится надежной методологической основой для выделения нефтегазоносных систем различного ранга и их классификации, для нефтегеологического районирования, обеспечит возможность проведения научно обоснованного количественного прогноза нефтегазоносности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудельский А.В., Лукашкевич Р.Г., Пахомов М.Д. Тепловая эволюция осадочной толщи нефтегазоносных бассейнов // Геол. и геофиз. 1987. № 10.

2. Ларченков Е.П., Мороз С.А., Соколов Б.А. Системный подход в изучении нефтегазоносных бассейнов // Системный подход в геологии. М.: Недра, 1989.

3. Максимов С.П., Добрица Э.Д., Сардонников Н.М. Закономерные связи цикличности тектонических движений осадочного чехла и процессов нефтегазообразования и нефтегазонакопления // Тектоническая цикличность и нефтегазоносность / Всесоюз. н.-и. газонефтяной ин-т. М., 1985.

4. Мороз С.А., Оноприенко В.И. Методология геологической науки. Киев: Вища школа, 1985.

5. Мороз С.А., Оноприенко В.И. Пространственно-временные аспекты стратиграфии. Киев: Вища школа, 1988.

6. Оноприенко В.И. Принцип полициклизма в теоретической геологии // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1973. № 3.

7. Серов Н.К. Процессы и мера времени. Л.: Недра, 1974.

8. Соколов Б.А. Эволюционно-динамические критерии оценки нефтегазоносности недр. М.: Недра, 1985.