

ление нефтематеринских пород более высокого качества (хотя бы удовлетворительного). Кроме того, анализ катагенетической преобразованности свидетельствуют о том, что сравнительно невысокий нефтегазоматеринский потенциал нижнего и среднего рифея истощен, вероятно, еще в предвендское время, а верхнего рифея – в предвендское.

Вместе с тем нельзя полностью исключить вероятность обнаружения относительно маломощных материнских пород удовлетворительного качества при более детальном и целенаправленном изучении аргиллитов, глинистых известняков, доломитов и мергелей пересыпкинской, секретаркинской, веденяпинской, воронской и красноозерской свит верхнего рифея.

Л и т е р а т у р а

1. Геология и нефтегазоносность рифейских и вендских отложений Волго-Уральской провинции /М.М. Алиев, С.Г. Морозов, И.Е. Постникова и др. – М.: Недра, 1977. – 157 с.
2. Нефтегазоносность древних толщ востока Русской платформы /Т.В. Белоконь, О.И. Сиротенко, М.М. Балашова, В.И. Горбачёв //Геология нефти и газа. – 1996. – № 7. – С.12-18.
3. Белоконь Т.В., Горбачев В.И., Балашов М.М. Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. – Пермь: КамНИИКИГС, 2001. – 108 с.
4. Постникова И.Е., Баженова О.К., Коцарева Т.А. Литолого-геохимические предпосылки нефтегазоносности докембрийских отложений Пачелмского авлакогена //Геология нефти и газа. – 1998. – № 1. – С.26-33.
5. Навроцкий О.К., Сидоров И.Н., Гонтарев В.В. О нефтегазоносном потенциале верхнепротерозойских отложений Саратовского Поволжья //Недра Поволжья и Прикаспия. – 2003. – № 34. – С.19-24.
6. Шутов В.Д. Эпигенетическая зональность палеозойских и рифейских отложений Пачелмского прогиба. – БМОИП отд. Геологии. – Т.ХХХV (6). – 1960. – С.48-67.
7. Яцкевич С.В. Эпигенез, стратиграфия и распространение верхнепротерозойских отложений Саратовского Поволжья //Геолого-геофизические исследования в Нижнем Поволжье. – Саратов: изд-во Сарат. ун-та, 1973.
8. Яцкевич С.В. Стратиграфия рифейских отложений Саратовского Поволжья //Доклады АН СССР. – 1970. – Т.195. – № 5. – С.1183-1186.

УДК 553.98.2.061.15

**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ЗАЛЕЖИ УГЛЕВОДОРОДОВ
КАК О ПРИРОДНОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ЕЕ ИЗУЧЕНИИ И ОСВОЕНИИ**

© 2012 г. Ю.С. Кононов

ФГУП "Нижне-Волжский НИИ геологии и геофизики"

Обычно в нефтегазовой геологии залежь углеводородов (нефти, газа или их смесей в разных сочетаниях) характеризуется в качестве их единичного скопления. При этом, как правило, речь идет о приуроченности залежи к такому традиционно выделяемому элементу, как ловушка углеводородов (УВ). Ее залежь может заполнять полностью или

частично. С другой стороны, в отечественной нефтегазовой геологии сложилось и широко используется представление о иерархированной системе нефтегазогеологического районирования, наиболее крупным региональным объектом которого служит нефтегазоносная провинция (НГП) или бассейн (НГБ). Кроме того, примерно с середины се-

мидесятых годов XX века (опять-таки в отечественной нефтегазовой геологии) сначала Б.А. Соколовым, а затем и другими стало использоваться понятие об увосфере. Залежь УВ в иерархизированной системе нефтегазо-геологического районирования выступает в качестве ее элементарного звена.

Современные представления о системах главным образом сложились во второй половине XX века, хотя зачатки их, прежде всего в науках о Земле, особенно в геологии и биологии, появились значительно раньше. В первую очередь это – целое, состоящее из множества элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определенное единство. Составные части или элементы систем принято называть системообразующими факторами (СОФ) или уровнями их организации (УО). Основное же свойство системы, называемое эмерджентным, не сводится к сумме свойств СОФ (УО), а отличается от них, придавая системе новое качество, как единому целому. В свою очередь, любая система может выделяться и рассматриваться с разных точек зрения, поскольку она существует во взаимосвязи и взаимодействии с другими системами. В этом заключается главное содержание системно-целевых исследований, а эмерджентное свойство системы проявляется главным образом во взаимодействиях различных систем.

В нефтегазовой геологии эмерджентное свойство залежи УВ, как их природного скопления, главным образом используется во взаимодействии с системой геодейтельности или геологоразведочного процесса для поисков новых залежей. Прежде всего это выражается в оценке перспективных ресурсов УВ по принципу аналогии с уже известными их скоплениями. Наиболее достоверны такие ресурсы у выявленных и подготовленных к бурению однотипных ловушек вблизи уже открытых и изученных эталонных залежей или многозалежных месторождений УВ. Обычно в таких условиях аналогия наиболее близка, особенно если удается

установить характер так называемых региональных изоконтактов. В целом же система геодейтельности, целью которой является оптимальное использование эмерджентного свойства природной системы "залежь", включает оценку степени аналогии, прогноз, поиски, открытие, разведку, разработку и эксплуатацию. Здесь, очевидно, следует остановиться на соотношениях залежи и месторождения УВ, поскольку дальше речь идет именно о залежи.

Во-первых, А.А. Бакиров и его последователи предложили отказаться от самого названия "месторождение" применительно к УВ с учетом того, что их концентрация образуется в результате миграции. В их трудах обычно используется термин "местоскопление". В принципе, он больше соответствует содержанию (как и в отношении залежи), но все-таки широкого распространения не получил. Более привычно название "месторождение", которое именно поэтому используется в дальнейшем. Во-вторых, в тех случаях, когда месторождение представлено одной залежью, разницы между ними практически не существует. Однако нередко месторождение включает несколько залежей и характеризуется как многозалежное. Например, в пределах отличающейся высокой степенью разведанности Волго-Уральской НГП к концу XX века было открыто более 1200 месторождений УВ, преимущественно многозалежных. В среднем каждое месторождение включало примерно 4 залежи. Вместе с тем в пределах той же НГП известно однозалежное гигантское Оренбургское газоконденсатное месторождение (с нефтяной оторочкой). Наконец, на многозалежных месторождениях практически всегда в процессе их развития выделяется так называемая базовая залежь, которая в дальнейшем вводится в первоочередную разработку и эксплуатацию. Ее добывные возможности считаются наиболее высокими. Кроме того, на многозалежных месторождениях флюидальный состав УВ может претерпевать весьма существенные изменения. Здесь воз-

можны два варианта: либо это разное соотношение нефти и газа в залежах, либо одни из них – нефтяные, а другие – чисто газовые.

На этапе локализованной оценки ресурсов УВ залежь обычно включает объем ловушки (в частности, – площадь и амплитуду подготовленной к бурению структуры), мощность (толщину) коллекторов, их емкостно-фильтрационные свойства (пористость, проницаемость), экранирующие способности покрышки (мощность или толщину и проницаемость), величину регионального наклона пород, площадь нефтегазосбора ловушки, а также содержание $C_{орг}$ в породах и степень его преобразованности. Последняя характеристика предусматривает биогенное происхождение скоплений УВ, хотя на этот счет существуют разные точки зрения. В том числе они публиковались в журнале "Геология нефти и газа".

При рассмотрении залежи УВ как природного образования в качестве объекта системы, она должна включать необходимые и достаточные СОФ или УО. К ним правомерно отнести следующее: 1 – приуроченность к определенному элементу нефтегазогеологического районирования; 2 – концентрацию запасов; 3 – фазовое или агрегатное состояние УВ в залежи; 4 – термодинамическую характеристику; 5 – гидрогеохимическую характеристику; 6 – строение природного резервуара; 7 – особенности строения вмещающего залежь пустотного пространства и коллекторских свойств пород. Каждый из указанных СОФ (УО) системы "залежь" может быть представлен по отношению к ней в виде дополнительно иерархизированной подсистемы и одновременно может служить УО (СОФ) другой системы, пересекающейся с системой "Залежь", прежде всего – нефтегазовой геологии.

В отношении приуроченности к определенному элементу нефтегазогеологического районирования следует отметить, что в отечественной геологии залежь в известной мере независимо осуществляется на основе выделения НГП и НГБ. В том числе в пос-

леднее время довольно широкое распространение получило бассейновое моделирование на компьютерной основе. Предложенная оценка взаимосвязей НГП и НГБ [1] базируется на основе выделения в разрезах тех и других нефтегазоносных комплексов (НГК).

Для оценки особенностей концентрации УВ в залежах предложены и зачастую используются близкие варианты соотношения их запасов в НГП (НГБ), отвечающие усеченному распределению Парето. В нем осуществляется разбиение интервала возможных значений запасов в генеральной совокупности на семь классов крупности. При этом имеющиеся обобщения, в том числе глобального характера, свидетельствуют об основной концентрации запасов на гигантских или уникальных месторождениях (залежах). Соответственно верхний предел распределения запасов, очевидно, должен соответствовать именно таким скоплениям. Естественно, он должен учитывать Ближневосточную аномалию концентрации запасов, именуемую еще НГБ Персидского залива. В известной мере другая подобная аномалия оказывается приуроченной к северо Западно-Сибирской плиты.

Относясь к концентрации УВ как к характеристике природной системы "залежь", следовало бы речь вести о геологических запасах, особенно в отношении нефти и газо-жидкостных систем. Оптимизация же нефтеизвлечения (и конденсатоотдачи) достигается при наиболее полной согласованности технико-технологических факторов с геолого-геофизическими. Иной вариант характерен для России в 1991-2000 годах с уникальным списанием запасов жидких УВ [2].

В зависимости от фазового состояния УВ в залежи и соотношения в них жидких и газообразных компонентов они образуют определенную совокупность, которая обычно подразделяется на: 1 – нефтяные залежи, содержащие только нефть, ненасыщенную или в разной степени насыщенную попутным газом; 2 – газонефтяные, в которых ос-

новная часть залежи нефтяная, а газовая (газова шапка) занимает меньший объем; 3 – нефтегазовые, в которых газовая шапка превышает по объему нефтяную часть флюидальной системы; 4 – газовые залежи с нефтяной оторочкой; 5 – газовые залежи, содержащие только газ; 6 – газоконденсатные, в газе которых содержится конденсат; 7 – нефтегазоконденсатные, содержащие нефть, газ и конденсат в разных соотношениях. Последнее состояние наиболее сложно. Оно, в частности, свойственно уже упоминавшейся крупнейшей залежи Оренбургского месторождения Волго-Уральской НПП.

Фазовое состояние залежи в значительной (если не в наибольшей) мере зависит от термодинамической ее характеристики. Она определяется воздействием на залежь УВ совокупности ряда факторов. Это: глубина залегания, температура, геотермический градиент (ступень), состав пород, физические свойства пород, состав и свойства флюидов, давление (и его отклонения от нормального гидростатического давления). Весьма существенно термодинамическая характеристика связана с гидрогеохимической, особенно в части состава пород и флюидов.

Гидрогеохимическая характеристика залежи опять-таки многокомпонентна. Она определяется составом вмещающих залежь пород, химическим составом законтурной и остаточной воды (включая растворенные газы), составом рассеянного в породах и растворенного в воде органического вещества (ОВ), составом неуглеводородных компонентов в УВ и водах, физико-химическими свойствами УВ-системы, фазовым состоянием УВ, фракционным составом жидкой и газообразной фаз в залежах. Гидрогеохимическая характеристика совместно с термобарической в наибольшей степени оказывают влияние на состав УВ-залежи.

Строение природного резервуара определяется соотношением вмещающих залежь УВ пород-коллекторов и флюидоупоров. Оно главным образом влияет на форму залежи и

тесно связано с представлениями о ловушках УВ. Главные причины их образования сводятся к следующему [2]: 1. Своеобразная форма изгиба пластов-коллекторов и пластов-покрышек (антиклинальная залежь). 2. Выклинивание или замещение пород-коллекторов одновозрастными слабо проницаемыми породами (литологическая залежь). 3. Стратиграфический срез проницаемых пород более молодыми слабопроницаемыми под некоторым углом (стратиграфическая залежь под несогласием). 4. Примыкание (прилегание) проницаемых пород по восстанию к более древним слабо проницаемым на поверхности несогласия (стратиграфическая залежь над несогласием). 5. Контакт проницаемого пласта со слабопроницаемым по дизъюнктивному нарушению (дизъюнктивно или тектонически экранированная залежь). 6. Запечатывание природным битумом головы проницаемого пласта (залежь самозапечатывания). 7. Гидродинамическое влияние встречного потока вод на мигрирующие нефть и газ (гидродинамически экранированная залежь). Вообще же по поводу ловушек УВ существует обширная литература. В частности, например, гидродинамические залежи делятся на 7 видов [3].

Особенности строения вмещающего залежь пустотного пространства и коллекторские свойства пород ныне в общем виде изучены довольно однозначно. При этом к основным емкостно-фильтрационным свойствам пород по отношению к насыщающим их флюидам принято относить: пористость, сжимаемость, проницаемость, структуру порового (точнее – пустотного) пространства, кавернозность, трещиноватость, а также капиллярные свойства с проявлением гидрофильности или гидрофобности пород. К тому же для широко развитых карбонатных пород-коллекторов разработана специальная объемно-генетическая классификация [4]. Выделенные в ней основные качественные показатели включают: 1 – абсолютную проницаемость, 2 – относительную газопро-

ницаемость, 3 – открытую пористость, 4 – коэффициент газонасыщенности, 5 – остаточную нефтенасыщенность, 6 – тип и характеристику структуры порового (точнее – пустотного) пространства, 7 – структурно-текстурную характеристику породы. По структуре же пустотного пространства коллекторы подразделяются на квазиравномернопоровые, существенно неравномернопоровые, порово-кавернозные, порово-трещинные, трещинно-поровые, трещинно-каверно-поровые, трещинно-кавернозные. Из количественных характеристик выделяются 7 классов коллекторов по абсолютной проницаемости. Такие свойства присущи не только карбонатным коллекторам, что позволяет использовать их более широко.

Близость рассмотренных особенностей строения залежей УВ позволяет группировать рядом расположенные залежи в зоны нефтегазонакопления (ЗНГН). Обычно считается, что такие зоны характеризуются не только близостью особенностей строения залежей, но и их образования. Вместе с тем при характеристике залежи УВ в качестве их единичного скопления обычно отмечается, что оно заполняет ловушку полностью или частично. В пределах ЗНГН возможно наличие обоих этих вариантов. При представлении о залежи как о природной системе, эти варианты могут считаться ее СОФ (УО), а сама система – простейшей, двухуровневой. Это не препятствует дальнейшей дифференциации каждого СОФ (УО) при рассмотрении его в виде подсистемы, как в соответствии с приведенной или иной градацией ловушек, так и самих залежей. В простейшем же случае имеется в виду соотношение амплитуды антиклинальной или псевдоантиклинальной ловушек, представленной, например, рифогенным, эрозионным выступом, с высотой залежи и толщиной (мощностью) природного резервуара или продуктивного пласта. В первом варианте, когда ловушка заполнена до замка, высота залежи соответствует ее амплитуде. Однако одна из наиболее общих особеннос-

тей ее внутреннего строения опять-таки представлена двояко. Если толщина природного резервуара или продуктивного пласта больше амплитуды ловушки, образуется залежь массивного (или псевдомассивного) типа. Она имеет лишь один внешний контур и по всей площади подстилается водой. Если же толщина (или мощность) природного резервуара (продуктивного пласта) меньше амплитуды ловушки, образуется пластовая сводовая залежь с внешним и внутренним контурами. При этом не исключается многопластовый характер залежи, когда в нескольких сближенных пластах фиксируется одинаковое или же очень близкое гипсометрическое положение водонефтяного или газоводяного контакта (ВНК, ГВК). Во втором варианте высота залежи меньше амплитуды ловушки, а ее внутреннее строение может быть близким к первому варианту. Иначе говоря, залежь может быть как массивной (псевдомассивной), так и пластовой. Более детально остановиться на рассмотрении этого вопроса нет возможности. Необходимо лишь отметить, что общие и частные особенности строения залежи УВ в виде природной системы выявляются и уточняются в результате реализации системы геодетальности или геологоразведочного процесса.

Система целенаправленного геологоразведочного процесса наиболее эффективное развитие получила в бытность Министерства геологии СССР. Она охватывала все виды минерального сырья, но приоритетным среди них были все же нефть и газ. Тогда важнейшей составной частью геодетальности в рамках функций этого министерства была прогнозно-поисковая подсистема. При открытии же залежей или многозалежных месторождений осуществлялась их разведка с подготовкой промышленных запасов и проектов кондиций разработки. После этого залежи (месторождения) с накопленной по ним информационной базой передавались для разработки и эксплуатации в нефте- или газодобывающие организации. Они имели

уже свою соответствующую геологическую службу, главным образом ориентированную на сопровождение именно разработки и эксплуатацию залежей (месторождений). Вообще опытно-промышленная эксплуатация некоторых залежей предусматривается также на этапе разведки месторождений. К тому же, например, существует метод оценки запасов газа по падению давления в залежи в процессе ее разработки. Не вдаваясь в подробности, далее можно остановиться лишь на некоторых наиболее существенных основных особенностях прогнозно-поисковой составляющей системы геодетальности (геологоразведочного процесса).

В рассматриваемом плане важное значение имеет система принципов геологоразведочного процесса. Она включает принципы последовательных приближений, рациональной полноты исследований, аналогии главного критерия, комплексности, равномерности, наименьших затрат. Как было показано [5], эта система принципов достаточно тесно взаимосвязана с концепциями, на которых базируется количественная оценка прогнозных ресурсов. Чаще всего имеется в виду, что такая оценка дается на региональном уровне, но вполне правомерно ее осуществление и на локальном, особенно при высокой степени аналогии прогнозируемого объекта с изученным.

Вообще переход от регионального уровня к локальному с выявлением и подготовкой к бурению локальных объектов для открытия залежей УВ обычно осуществляется через промежуточный зональный уровень. При этом для системной оценки ЗНГН выделяется следующая группа основных задач [2]: 1 – определение структурных соотношений между различными нефтегазоперспективными и литолого-стратиграфическими комплексами; 2 – изучение основных закономерностей распространения и изменения пород-коллекторов и флюидоупоров; 3 – уточнение элементов нефтегазогеологического районирования; 4 – выявление

наиболее крупных ловушек; 5 – оценка перспектив нефтегазоносности с отнесением прогнозных ресурсов к категориям D_1 и частично D_2 ; 6 – выбор перспективных объектов; 7 – установление очередности проведения поисковых работ. Нетрудно видеть, что указанные задачи определяются в соответствии с приведенными выше принципами геологоразведочного процесса в целом.

Кроме того, выделена система наиболее важных задач применительно к прогнозу локальных поднятий и приуроченных к ним залежей УВ или многозалежных месторождений. Она включает [6]: 1) оценку продуктивности структуры в целом (пустая или нефтегазоносная, без привязки ожидаемых скоплений УВ к определенным частям разреза); 2) оценку продуктивности каждого из перспективных комплексов отложений, серий, свит или основных перспективных горизонтов, пластов; 3) установление категории крупности ожидаемых скоплений УВ в нефтегазоносных комплексах, сериях, свитах, горизонтах, пластах (на многозалежных месторождениях); 4) определение вероятной величины запасов (локализованных ресурсов) на месторождении в целом, в отдельных комплексах, сериях, свитах, горизонтах, пластах; 5) определение доли газообразных УВ в общих запасах (локализованных ресурсах) нефти и газа на ожидаемом месторождении в целом, в отдельных комплексах, сериях, свитах, горизонтах, пластах (вероятный фазовый состав скопления УВ, размер газовых шапок, нефтяных оторочек и т.д.); 6) установление состояния запасов УВ, содержащихся в различных комплексах, сериях, свитах.

При сопоставлении этой системы задач с той, что относится к ЗНГН, нетрудно видеть, что эта система направлена на внутреннюю дифференциацию задачи 6 (выбор перспективных объектов). Таким образом, в плане системного подхода совокупность задач прогноза нефтегазоносности локальных поднятий может рассматриваться в качестве

группы СОФ (УО) подсистемы выбора перспективных объектов, представляющих наибольший интерес внутри ЗНГН. Для прогнозирования же нефтегазоносности на любом уровне (от регионального до локального) обычно используется система критериев. Она включает: литолого-стратиграфический, структурно-тектонический, фациально (формационно)-палеографический, гидрогеохимический, термобарический, емкостно-фильтрационный и собственно нефтегазоносный критерии.

В прогнозно-поисковой части системы геодейтельности или геологоразведочного процесса важнейшее значение имеет открытие залежи УВ (или многозалежного месторождения). Оно достигается путем последовательного решения серии задач, которые в рамках системного подхода могут рассматриваться в качестве СОФ (УО) соответствующей системы. Она включает: выявление нефтегазоперспективного объекта; его подготовку к бурению; непосредственное бурение скважины; изучение ее разреза (с использованием рационального комплекса геофизических исследований и петрофизических зависимостей); выделение в разрезе перспективно-нефтегазоносного интервала (или нескольких интервалов на многозалежном месторождении); проведение испытания скважины (в ходе бурения пластоиспытателем и в колонне при обсаженном стволе); получение продукции (нефти, газа или

смеси флюидов), доказывающей наличие залежи.

На этом по существу поисковая стадия завершается, и далее следует оценка, с одной стороны, – значимости и крупности (запасов) залежи, а с другой стороны, – особенностей ее внутреннего строения. И то и другое необходимо для последующей передачи залежи в разработку и эксплуатацию с обеспечением их оптимальной схемы. В последней должны сочетаться оптимизация экономической эффективности с максимально возможным извлечением из недр прежде всего жидких УВ.

На основе изложенного можно сделать следующий основной вывод: представление о залежи УВ как о природной (многоуровневой) системе наиболее четко проявляется во взаимосвязи с системой (также многоуровневой) геодейтельности или геологоразведочного процесса. Кроме того, в обеих системах характерно преобладание одинакового количества системообразующих факторов (СОФ) или уровней их организации (УО). Оно соответствует либо минимальному (реже), либо максимальному (чаще) пределу ограниченности простых однозначных чисел. Это способствует оптимизации решения прогнозно-поисковых задач, а также оценке промышленной значимости открываемых залежей и особенностей их строения, в наибольшей мере влияющих на их разработку и эксплуатацию.

Л и т е р а т у р а

1. Кононов Ю.С. Особенности нефтегазогеологического районирования //Известия вузов. Геология и разведка. – 2003. – Вып.44. – С.65-72.
2. Шелепов В.В. Обеспечить энергетическую безопасность России //Использование и охрана природных ресурсов России. – 2001. – № 2. – С.38-41.
3. Словарь по геологии нефти и газа. – Л.: Недра, 1988.
4. Теоретические основы нефтяной гидрогеологии /под ред. А.А. Карцева. – М.: Недра, 1992.
5. Багринцева К.И. Карбонатные породы-коллекторы нефти и газа. – М.: Недра, 1977.
6. Кононов Ю.С. Соотношение основных принципов прогнозирования нефтегазоносности и геологоразведочного процесса //Геология нефти и газа. – 1990. – № 1. – С.22-24.
7. Методические основы прогнозирования нефтегазоносности /под ред. Н.И. Буялова. – М.: Недра, 1990.