

Седиментогенез и фазовые превращения карбонатного породообразующего вещества нефтегазоконденсатных месторождений

Скибицкая Н.А., Яковлева О.П.

ИПНГ РАН, г. Москва, e-mail: nik@ipng.ru

Проблемы формирования нефти, газа и других видов полезных ископаемых, в частности в карбонатных продуктивных толщах, а также создания собственно месторождения как геологического объекта являются, как показывают результаты исследований, сложнейшим комплексным процессом, в котором суммируются (и которые должны быть учтены при создании гипотетических моделей) различные факторы: источник и свойства исходных веществ, их аккумуляция, формирование породообразующего вещества, условия и фазовые превращения его в геологическом времени, химизм этих превращений и др.

Масштабность, а также нефтегазо- и рудоносность месторождений углеводородов, сформированных в древних органогенных (рифогенных, биогермных) постройках, в том числе и на Северо-Западе России в Тимано-Печорском бассейне, трудно переоценить.

По существующим представлениям, рифогенные постройки являются ловушками, состоящими из карбоната кальция или доломита, имеющими определенное пустотное пространство (поры, трещины, каверны), в которое углеводороды поступают извне [1,2].

Мы занимаемся проблемой формирования комплексного ресурсного потенциала подобных месторождений, в частности Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ОНГКМ), а ранее Карачаганакского НГКМ, которые приурочены к палеозойским рифогенным (биогермным) постройкам, в течение многих лет. Весь комплекс полученных нами экспериментальных данных по изучению образцов карбонатных пород (карбонатного породообразующего вещества), насыщающих их углеводородных и неуглеводородных компонентов, а также анализ литературных источников позволяют утверждать, что рифогенные продуктивные постройки являются не только гигантскими аккумуляторами углеводородов и других полезных ископаемых, но и источниками их образования, обладающими изначально, с момента их роста и захоронения, высоким комплексным генерационным потенциалом. Решающая роль в формировании такового в первоначальном, исходном породообразующем карбонатном веществе принадлежит живому веществу в составе биогеоценоза рифовой полифациальной экосистемы. Вместе с тем, его высокая биологическая продуктивность вполне может быть связана и с подпиткой живущей рифовой экосистемы глубинными углеводородами любого генезиса и тепловыми потоками.

Сложнейшее по своему составу и строению породообразующее вещество залежей углеводородов является промежуточным звеном в эволюционном ряду «живое вещество – нефть». Оно формируется на стадиях седиментогенеза и раннего диагенеза и «живет» в геологическом времени в соответствии с неким внутренним генетическим кодом со скоростью, зависящей от внешних условий. Важнейшая роль в формировании начального состава и строения породообразующего вещества отводится стадиям седиментогенеза и раннего диагенеза, которые по сути являются стадиями сингенетичного сопряженного комплексного ресурсообразования в рифогенных продуктивных постройках.

На стадии седиментогенеза происходит жизнь, рост и отмирание всех организмов, входящих в состав сложнейшего рифового биогеоценоза. В условиях общего устойчивого прогибания морского дна, отмечаемого многими исследователями, изучавшими рифогенные образования, происходит накопление гумусово-сапропелевых осадков, переработка входящих в их состав биополимерных молекул различными сначала аэробными бактериальными сообществами, их отмирание, с образованием уже анаэробными бактериями в относительно глубоководных восстановительных условиях в результате всех деструкционных процессов гумусово-концентратов, захоранивающих риф.

Именно на стадии седиментогенеза, в самом объемном теле (скелете, ядре) рифовой постройки за счет известных процессов биоминерализации (химического или физико-химического взаимо-

действия биомолекул с минералами –матричного синтеза) многочисленных известывыделяющих организмов, в основном кораллов и водорослей, и, особенно, в осадочных иловых концентратах, происходит аккумуляция всех потоков первичных (исходных для формирования породообразующего вещества) химических соединений, поступающих в морскую воду в составе вещества космического, отмершего живого, недр литосферы и др. Затем происходит переработка первичных органических соединений (биополимеров и др.) живым веществом илов, в частности различными бактериальными сообществами, со всеми их известными концентрационными и трансформационными функциями [3–9].

Мы полагаем, что создание комплексного генерационного потенциала нефтегазоконденсатных месторождений происходит за счет накопления органической, вернее элементоорганической, составляющей в концентрированном виде во всем объеме рифогенного породообразующего вещества, формирующегося в процессе роста, захоронения рифа и его дальнейшей литификации. Химический состав и концентрации органической (элементоорганической) составляющей будут весьма неоднородными в различных фациях. В ядре (скелете) рифогенной постройки они создаются в результате процессов биоминерализации и зависят от состава и концентрации органических соединений, входящих в органическую матрицу, на которой происходит осаждение карбоната кальция. Основная же масса органики и ее состав определяются мощной массообразующей и длительной деятельностью бактериальных сообществ, живущих во всех фациях рифа, и, особенно, анаэробными бактериями в глубоководном иловом концентрате (мобилизате, если иметь в виду его подвижность), захоранивающим не только собственно рифогенную постройку, но и его пустотные объемы. Подробнее этот материал будет изложен в докладе.

Подобным образом в седиментогенезе и раннем диагенезе формируется на молекулярном уровне и затем литифицируется мощная карбонатная неоднородная по составу продуктивная толща – мозаично построенное, объемное, породообразующее геологическое тело – мощный природный реактор с высоким нефтегазоматеринским потенциалом за счет накопления элементоорганического вещества в концентрированном виде в составе карбонатного породообразующего вещества. Реализация нефтегазо- и рудного потенциала с рождением углеводородов и других видов полезных ископаемых происходит *in situ* в результате эволюционных преобразований породообразующего вещества.

Мы пришли к выводам относительно особого значения седиментационных процессов в формировании комплексного генерационного потенциала рифогенных продуктивных построек, а также последующих процессов его реализации на основании результатов многолетних исследований образцов карбонатных пород и насыщающих их углеводородных и неуглеводородных компонентов вышеуказанных месторождений.

Как показывают результаты исследований образцов карбонатных пород в электронных микроскопах, не только исходное породообразующее вещество рифогенных полифациальных построек, но и вещество, находящееся сегодня в различных зонах и на разных стратиграфических уровнях нефтегазоконденсатных месторождений в достаточно преобразованном виде представляет собой не чистый карбонат кальция, что признавалось ранее только в результате его недостаточной изученности. Это вещество устроено много сложнее и является поликомпонентным минерально-органическим полимерным образованием.

В результате комплексных исследований образцов карбонатных пород из разных зон залежей были установлены неожиданные для многих, в том числе и для нас самих, новые свойства карбонатного породообразующего вещества. В частности, в растровом электронном микроскопе (РЭМ) высокого разрешения Хитачи S-800* было установлено, что карбонатное породообразующее вещество находится в отдельных зонах залежи в различных фазовых состояниях – от коллоидного до кристаллического, но во всех случаях на молекулярном уровне оно имеет для отдельных элементов глобулярные (иногда фибриллярные) надмолекулярные структуры (рис.1). Подобные структуры характерны для органических полимеров и битумов [10].

* Исследования в электронных микроскопах выполнены совместно с В.А.Кузьминым.

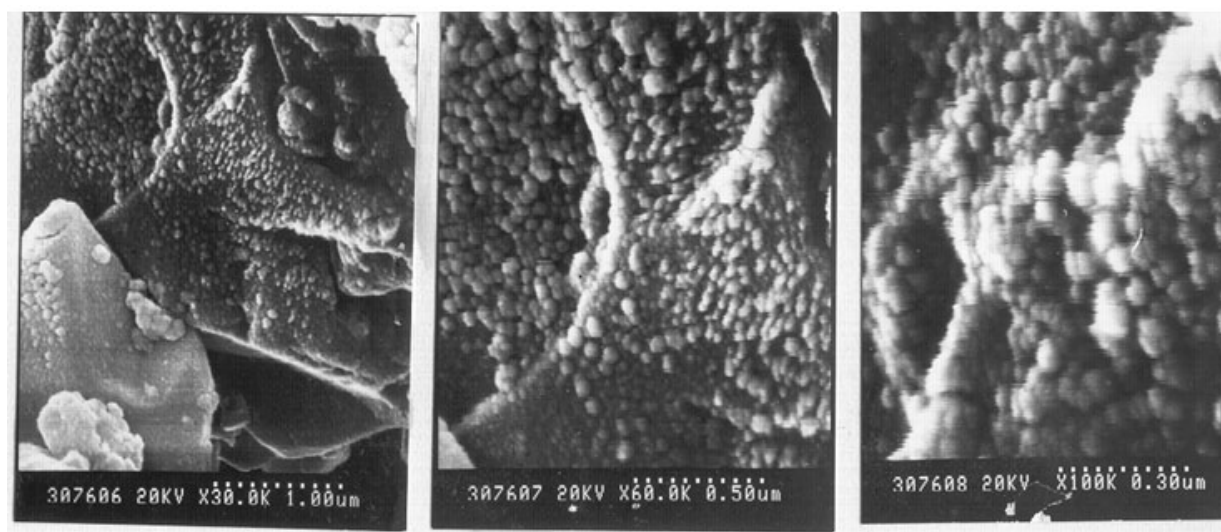


Рис. Макроглобулярная полимерная структура образца карбонатной породы. КНГКМ.
Plart. Увеличения в ряду от 30 тыс. до 100 тыс. раз

Действительно, его полимерная природа, а также возможное состояние в залежи в набухшем коллоидном состоянии были подтверждены способностью набухать в углеводородах (дизельном топливе, гептане и др.) с увеличением объема зерен до 5–10 раз, что также характерно для сшитых в разной степени органических полимеров[11].

Кроме того, в результате изучения образцов пород на РЭМ высокого разрешения «LEO SUPRA 50 VP» с энергодисперсионным анализатором элементного состава установлено значительные превышения содержаний углерода и кислорода, а также значительное уменьшение содержания кальция в кристаллах породы, которые имеют визуальную кристаллографическую форму кальцита.

Эти кристаллы содержат в основном Ca, C и O, и их можно было бы принять за чистый карбонат кальция – CaCO_3 , в котором содержание углерода равно 12%. Однако в изучаемых образцах оно составляет 27–32%, содержание кислорода превышает теоретические 48% до 63,55%, а содержание Ca вместо 40% составляет в некоторых образцах менее 9% (Таблица 1).

Таблица. Результаты элементного анализа образцов карбонатной породы, имеющих кристаллографическую форму кальцита

Спектры	C	O	Na	Mg	Si	Ca
Спектр 1	24.82	61.58	0.00	0.25	0.00	13.35
Спектр 2	26.60	63.55	0.00	0.21	0.00	9.64
Спектр 3	18.56	51.86	0.00	0.38	0.06	29.14
Спектр 4	27.62	62.33	0.00	0.04	0.03	9.97
Спектр 5	23.08	61.90	0.70	0.22	0.00	14.10
Спектр 6	27.97	63.47	0.00	0.12	0.00	8.44
Спектр 7	14.70	50.90	0.06	0.20	0.59	33.54
<i>*Все результаты в атомных %</i>						

Полученные данные свидетельствуют не только о необычном полимерном строении карбонатного породообразующего вещества, которое аналогично строению органических полимеров и битумов, но и о том, что даже в образцах, имеющих кристаллографическую форму кальцита, содержится значительно больше углерода и кислорода, чем в чистом карбонате кальция. Из этих данных следует, что даже в визуальном кристаллическом образце карбонатной породы (карбонатного породообразующего МОП), имеющих высокую степень преобразования, присутствует органическая составляющая. Причем, она вряд ли просто примешана к минеральной составляющей. Поскольку в электронном микроскопе видно, что структура породообразующего полимерного вещества (его минерально-органическая матрица) имеет достаточно упорядоченное строение (см. рис.1), следует полагать, что минеральная и органическая составляющие связаны химически.

Можно также полагать, что упорядоченная минерально-органическая матрица породообразующего рифогенного полимера и ее исходный генерационный потенциал в виде органической составляющей изначально формируются в фациях рифовой постройки за счет различных природных механизмов самоорганизации: а) биоминерализации в процессе роста тела (ядра) коралла, а также других живущих в рифовой постройке карбонатфиксирующих организмов и б) самоорганизации в липидные бислои (геобиохимические мембраны) дифильных липидных компонентов (в основном кальциевых и магниевых солей известных карбоновых кислот, характерных для живого вещества) в составе глубоководного гумусово-сапропелевого илового концентрата, сформированного анаэробными бактериальными сообществами самого рифового биогеоценоза как в пустотных объемах рифовой постройки в составе глубоководного илового концентрата, мигрирующего в риф как в область разгрузки при уплотнении концентрата и являющегося питательным бульоном для живущих там бактерий-цементаторов, а также в самом иловом концентрате, захоранивающем тело рифа.

Нами экспериментально установлено, что в различных зонах месторождений в зависимости от стадии эволюционных преобразований карбонатного породообразующего минерально-органического полимера свойства карбонатной породы весьма широко варьируют в части пористости образцов, структуры порового пространства, проницаемости, характера газо-конденсато-нефтенасыщения, степени набухания в углеводородах, концентрации битумоидных высокомолекулярных компонентов (асфальтенов, смол, парафинов, масел) и их компонентного состава, а также состава концентрации металлов и др.

Масштабы этих зон и величины их остаточных потенциалов определяются в зависимости от внешних условий различными стадиями фазовых и физико-химических превращений исходных минерально-органических полимеров, сформированных в различных фациальных условиях в составе рифогенного изначально неоднородного продуктивного комплекса.

Складывается впечатление, что в рифогенном минерально-органическом реакторе, изначально имеющем достаточно упорядоченное строение, происходят мощные, по всей вероятности, низкотемпературные физико-химические процессы, в результате которых вещество из твердотельного переходит в результате набухания в состояние высокомолекулярного коллоидного раствора. Подобные фазовые переходы будут сопровождаться возникновением импульсов сверхвысокого давления. При этом меняется напряженно-деформированное состояние среды, ее прочностные, плотностные и другие физические характеристики.

Пластовые давления в таких природных системах, осмотически набухших в углеводородах, могут быть равны горному и даже превышать его. В процессе этих фазовых превращений может происходить возбуждение породообразующей среды, ее разуплотнение, могут наблюдаться эффекты дилатансии. Эти ослабленные зоны, являющиеся некими разломными образованиями («столбами дегазации»), могут являться зонами направленной сейсмической активности и сопровождаться механическими нарушениями, приводящими к ускоренным химическим реакциям, преобразующим рифогенное минерально-органическое полимерного вещества до углеводородов газового и нефтяного рядов.

Литература

1. Багринцева К.И. Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа // М.: 1999. 285 с.
2. Кузнецов В.Г. Геология рифов и их нефтегазоносность // М.: Недра, 1978. 304 с.
3. Виноградов А.П. Химический элементарный состав организмов моря. Ч. 1,2,3 // Труды Биогеохим.лаб. 1935. Т. 3. С. 64–278; 1937. Т. 4. С. 5–225; 1944. Т. 6. С. 5–173.
4. Сорокин Ю.И. Сообщества коралловых рифов.// Океанология. Биология океана. Т. 2. Биологическая продуктивность океана. М.: Наука, 1977. С. 133.
5. Сорокин Ю.И. Экосистема коралловых рифов.// Вест. АН СССР. 1978. № 11.С. 23–25.
6. Химия морей и океанов // Под ред. докт. г-м.н. О.К.Бордовского. М.: Наука. 1995. 415 с.
7. Заварзин Г.А., Колотилова Н.Н. Введение в природоведческую микробиологию. М.: Университет. Книжный дом.2001. 255 с.

8. Лоуэнстам Х. Процессы и продукты биоминерализации и эволюция биоминерализации. // Тезисы докладов 27-го Междун. Геол. конгресса. М. 1984. Т. 2. С. 51–56.
9. Голубев С.Н. Живые кристаллы // Природа. 1989. № 3. С. 13–21.
10. Пеньков В.Ф. Уран и углеводороды // М.: Недра, 1989. 144 с.
11. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. М.: Химия. 1978.

Ультракремнистые породы в разрезе Печенгской структуры как продукт флюидизат-эксплозивных систем (Кольский полуостров)

Скуфьин П.К.

Геологический институт Кольского научного центра РАН, г. Апатиты, e-mail: skuf@geoksc.apatity.ru

В дифференцированных продуктах вулканизма раннепротерозойской Печенгской структуры отмечено появление высококремнистых вулканитов (кагуситов), наблюдающихся в виде покровов лав, палеоигнимбритов, а также формирующих эруптивные брекчии бимодального пикрит-кагуситового состава. Эти породы приурочены прежде всего к самой молодой матертской вулканогенной свите, перекрывающей осадки продуктивной свиты, вмещающие рудоносные интрузии габбро-верлитового состава с богатым Cu-Ni сульфидным оруденением. В целом разрез матертской свиты на 92% сформирован базальтами, на 6% – ферропикритами и на 2% – фельзическими лавами и туфами [5,8]. Монотонный разрез вулканитов свиты нарушается локальным проявлением высокодифференцированного вулканизма широкого спектра составов, что было обусловлено кратковременным импульсом сжатия на фоне перманентных условий рифтогенного растяжения земной коры в матертское время. Этот импульс обусловил эффективную разрядку напряжений вдоль Пильгуйярвинского взбросо-сдвига в кровле продуктивной свиты и привел к внедрению по этой ослабленной зоне дифференциатов ферропикритовой и толеитовой магм, в том числе многочисленных базит- и базит-гипербазитовых интрузий единой подщелоченной ферропикрит-габбро-верлитовой вулcano-плутонической ассоциации. Характерным примером формирования эруптивных центров вулканизма этой стадии является район к югу от горы Райсо-айви, на контакте продуктивной и матертской свит (Рис. 1). Здесь были закартированы многочисленные дайки и сложной формы интрузивные тела эруптивных брекчий и лавобрекчий базальтового и ферропикритового состава. Базальты обломков и матрикса, в отличие от обычных матертских базальтов, представлены или субщелочными разновидностями с нормальной кремнекислотностью и с повышенным содержанием калия в балансе щелочей (Таблица 1) или же “примитивными” малокремнистыми и малощелочными ферробазальтами, обедненными крупноионными литофильными элементами (Rb, Sr, Ba), но обогащенными сидерофильными элементами –Ni, Cr, Co. Эти породы могут представлять собой наиболее примитивные мантийные разновидности базальтоидов. Характерно, что изучение особенностей фракционирования недифференцированных примитивных базальтовых комплексов выявили на диаграмме щелочность-кремнекислотность пересечение трендов в точке с координатами SiO_2 –42 вес.% и $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – 1.2%, что, видимо, соответствует содержанию этих компонентов в мантии [10]. Ферропикриты эруптивных брекчий отличаются от матертских ферропикритовых лав 2 повышенным содержанием алюминия, железа, магния и щелочей, в особенности калия. В интрузивных лавобрекчиях были отмечены округлые обломки ультракремнистых (кагуситов) размером 0.2–0.5 м в поперечнике. Кагуситы имеют криптофельзитовую структуру, обогащены тонкодисперсным и орбикулярным магнетитом. Содержание SiO_2 в них составляет 86.1%, суммарного Fe –4.93%; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ = 0.1%. Своеобразные эруптивные брекчии бимодального кагусит-базальтового состава были установлены на восточном фланге Печенгского рудного поля, в районе крупного Ждановского месторождения Cu-Ni руд. Дайковые тела эруптивных брекчий мощностью до 20–30 м вытянуты на сотни метров по простиранию и падению вмещающих углеродистых сланцев продуктивной свиты. Они секут пластовые тела ферродолеритов из разреза продуктивной свиты и в свою очередь секутся интрузиями габбро-верлитов (ферродолеритов из разреза продуктивной свиты и в свою очередь секутся интрузи-