

распространении в пределах купола; при этом центральной его части соответствует, вероятно, главная магматическая камера, с которой были связаны более мелкие очаги, локализующиеся по периферии свода, в том числе под о. Котельный.

Согласно сейсмотомографическим данным [10], области Восточной Арктики соответствуют участки пониженных скоростей сейсмических Р-волн на нескольких мантийных уровнях, что, возможно, соответствует «послойному» растеканию нижнемантийного вещества от главного плюма подобно тому, как это предполагается для Тихоокеанского суперплюма [1, 6, 7 и др.]. Примечательно, что если на границе ядро-мантия (СМВ) Тихоокеанскому суперплюму соответствует высокоскоростная область предполагаемого «кладбища» слэбов (что может означать оторванность суперплюма от «корневого» слоя D»), то Арктический регион на границе СМВ коррелируется с обширной низкоскоростной Р-волн аномалией [10]. Последняя может интерпретироваться в качестве продолжающегося и быле нижнемантийного апвеллинга от слоя D». Главный импульс Тихоокеанского и Арктического суперплюмов был, вероятно, синхронным, среднемерловым, совпадающим с эпохой спокойного, безинверсионного магнитного поля, что свидетельствует о единой, глобального масштаба причине этого феномена.

Вывод. Обширные поля верхнеюрских-кайнозойских бимодальных ассоциаций и базальтоидов WPB типа Арктики и прилегающих континентов по геохимическому составу аналогичны одновозрастным вулканитам OIB типа поднятий и островов Тихого океана. Геохимические параметры и сейсмотомографические данные свидетельствуют об их связи с нижнемантийным апвеллингом. В целом проявления нижнемантийного суперплюмового механизма в раннем мелу носили глобальный характер. В Арктическом регионе этот механизм стал причиной деструкции каледонско-герцинской Пангеи. Режим растяжения и рифтогенеза, вызванный нижнемантийным суперплюмом, на отдельных участках Арктики преобразовался в океанский спрединг, в результате чего оформились два океанских бассейна – Американо-Евразийский и Евразийский.

*Работа поддержана Программой ОНЗ № 14, РФФИ (грант 08-05-00748), НШ-641.2008.5.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Филатова Н.И. Щелочной вулканизм восточной окраины Евразии как отражение Тихоокеанского суперплюма // Докл. РАН. 2002. Т. 383. С. 378-384.
2. Филатова Н.И., Хаин В.Е. Тектоника Восточной Арктики // Геотектоника. 2007. № 3. С. 3-21.
3. Шипилов Э.В. К тектоно-геодинамической эволюции континентальных окраин Арктики // Геотектоника. 2004. № 5. С. 26-52.
4. Шипилов Э.В., Корякин Ю.В. Юрско-меловой базальтоидный магматизм Баренцево-Карской континентальной окраины: геологические и геофизические свидетельства и геодинамические обстановки проявления // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. М.: ГЕОС. 2008. С.
5. Grantz A., Clark D.L., Phillips R.L. et al. Phanerozoic stratigraphy of Northwind Ridge, magnetic anomalies in the Canada Basin, and the geometry and timing of rifting in the Amerasia basin, Arctic Ocean // GSA Bull. 1998. V. 110. N 6. P. 801-820.
6. Janney P.E., Castillo P.R. Geochemistry on Mesozoic Pacific mid-ocean basalts: constraints on melt generation and the evolution of the Pacific upper mantle // J. Geophys. Res. 1997. V. 102. P. 5207-5229.
7. Maruyama S., Santosh M., Zhao D. Superplume, supercontinent, and post-perovskite: Mantle dynamics and anti-plate-tectonics on the Core-mantle Boundary // Gondwana Res. 2007. V. 11. P. 7-37.
8. Mazarovich A.O., Sokolov S.Yu. Tectonic subdivision of the Chukchi and East Siberian Seas // Rus. J. Earth Sci. 2003. V.5. N.5. P.185-202.
9. Silantiev S.A., Bogdanovskii O.G., Fedorov P.I. et al. Intraplate magmatism of the De Long Islands: a response to the propagation of the ultraslow-spreading Gakkel Ridge into the passive continental margin in the Laptev Sea // Rus. J. Earth Sci. 2004. V. 6. N 3. P. 39-47.
10. Vasco D.W., Johnson L.R. Whole Earth structure estimated from seismic arrival times // J. Geophys. Res. 1998. V.103. P.2633-2671.

### ЭПИГЕНЕТИЧЕСКОЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ОТЛОЖЕНИЯХ НИЖНЕГО ПРОТЕРОЗОЯ ОНЕЖСКОГО СИНКЛИНОРИЯ

**Филиппов М. М.**

Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск, filipov@krc.karelia.ru

Среди известных протерозойских осадочных бассейнов Онежский синклинорий уникален масштабом накопления органического вещества (ОВ). В его пределах открыты необычные купольные структуры и локальные тела высокоуглеродистых пород (шунгитов и максовитов) с признаками дифференциации первичного органо-минерального вещества и миграции углеводородов (УВ); в верхних стратиграфических шунгитоносных горизонтах оче-

видны процессы разрушения залежей ОВ, коллекторов УВ и их переотложения. Проблема сохранности ОВ в протерозое на стадии формирования осадков, в диагенезе, катагенезе и при метаморфизме до сих пор не решена: не всегда возможно определение даже его типа (первичное, миграционное или переотложенное); не изучены процессы рассеивания или вторичного концентрирования ОВ. Без выяснения вклада каждого из отмеченных процессов в эпигенетическое перераспределение ОВ невозможно оценить биопродуктивность палеопротерозойских бассейнов. Предполагается, что их исследование возможно на примере Онежского синклинория, поскольку низкий уровень метаморфизма обусловил сохранность генетических признаков ОВ, следов первичного взаимодействия гелей водного кремнезема, глини и ОВ, основных этапов формирования локальных купольных структур; развития процесса миграции УВ в пределах залежей и их участия в формировании структур; особенностей разрушения залежей и рассеивания ОВ. В докладе приведены сведения об основных процессах, ведущих к массовому эпигенетическому перераспределению ОВ в палеопротерозое.

Необычное по объему накопление ОВ на территории синклинория приурочено к формированию глинисто-карбонатных осадков заонежской свиты мощностью до 1 км (людиковский надгоризонт) в условиях мелководного бассейна с синхронным базальтовым вулканизмом. В составе свиты выделено девять горизонтов высокоуглеродистых пород, среди которых известны локальные залежи с исключительно высоким содержанием ОВ (30-80%). Породы с таким содержанием древнего ОВ образованы не одноактно, а в течение нескольких этапов: накопление сапропелевых илов; образование в диагенезе органо-минеральных соединений; развитие складок нагнетания (диапиров) по горизонтам с ОВ, вторичное обогащение ОВ центральных и верхних частей диапировых структур за счет дифференциации осадочного материала по плотности; обогащение верхних частей купольных структур миграционными углеводородами (УВ). Позднее породы заонежской свиты частично были размыты, и терригенный материал, содержащий ОВ, накапливался уже в составе вулканогенно-осадочных пород кондопожской свиты калевийского надгоризонта.

О масштабах накопления ОВ в Онежском бассейне можно судить по ряду ранее сделанных оценок сохранившегося углерода. По данным Н. В. Лопатина, эта величина составляет  $65 \times 10^9 \text{ м}^3$  [5]; по Л. П. Галдобинной [2] –  $25 \times 10^{10} \text{ т}$ . При этом объем исходного ОВ составлял  $650 \times 10^9 \text{ м}^3$ , а ежегодная биопродуктивность палеопротерозойского бассейна достигала 2-4 кг  $C_{\text{орг}}/\text{м}^2$  [6], что возможно при чрезвычайно благоприятных условиях. В расчетах Н. В. Лопатина принято, что мощность шунгитоносных отложений составляет 600 м, площадь распространения –  $8000 \text{ км}^2$ , минимальное содержание шунгитового вещества 2%, а в зоне раннего катагенеза сохранилось 10% от объема исходного ОВ. Приведенные оценки были сделаны без учета факторов эпигенетического перераспределения ОВ.

Косвенным признаком огромных объемов отложения ОВ и генерации УВ в заонежских образованиях, может служить легкий изотопный состав углерода карбонатных пород калевия ( $\delta^{13}C_{\text{carb}}$  до  $-17,6\%$ ) [11]. Минимум значений  $\delta^{13}C$  совпадает с максимальными концентрациями антраксолитовых включений в отложениях кондопожской свиты. Отрицательные значения  $\delta^{13}C_{\text{carb}}$ , достигающие до  $-11,8\%$ , становятся устойчивыми уже к верхней части заонежской свиты, что объясняется существованием мощного источника органического углерода, имеющего низкие значения  $\delta^{13}C$ . Последствие заонежского резервуара проявляется в составе и суйсарских, и кондопожских карбонатных пород. Для суйсарских карбонатных конкреций  $\delta^{13}C$  достигает  $-12,4\%$ , в нижней части кондопожской свиты карбонатные породы имеют  $-18,1$ , а в верхней  $-14,9\%$ . Поскольку максимум выхода газовой компоненты приходится на этап мезокатагенеза, а ее общее количество в этот период достигает 30% от исходного ОВ, то можно предполагать, что распределение количества катагенетических УВ во времени должно коррелировать с динамикой изменения изотопного состава органического и карбонатного углерода более молодых отложений.

Данные по изотопному составу углерода шунгитового вещества пород заонежской свиты и антраксолитов [2, 12] свидетельствуют о том, что вверх по разрезу  $\delta^{13}C$  существенно меняется (от  $-26,4$  до  $-39,5\%$  для разреза Максковского месторождения). Очевидно, что доля миграционного УВ в шунгитоносных породах верхних частей разреза заонежской свиты очень большая, причем оно первоначально было частично газообразным.

*Перераспределение ОВ при формировании диапировых структур.* Распределение  $C_{\text{св}}$  в купольных структурах имеет сложный, мозаичный характер. Зональность в содержании  $C_{\text{св}}$  проявляется в обогащении локальных объемов в центральных и верхних частях залежи. Эти области в целом соответствуют более слюдястым породам. Предполагается, что при формировании купола наиболее легкие органоглины опережали относительно более тяжелые органо-кремнистые комплексы и, тем более, кремнистые фтаниты и карбонатсодержащие породы, то есть в основе развития тел лежали закономерности гравитационной тектоники. На уровне эрозионного среза локальные неоднородности сливаются, образуя единые участки высокоуглеродистых пород (явление полидиапиризма). Значение  $\delta^{13}C$  для периферийных частей купола, где минимально присутствует миграционное шунгитовое вещество, равно  $-26,9 \%$ ; в габбро-долерите из дайки  $\delta^{13}C = -38,9\%$ ; в сажистой разновидности максовитов, отобранных на расстоянии от силла, равном 6,8 метра,  $-43,2 \%$ .

На Шуньгском месторождении шунгитов субпластового типа содержание  $C_{\text{св}}$  закономерно растет к верхним частям складок разного порядка. Шунгиты – это тонкая, достаточно равномерная смесь шунгитового и мине-

рального вещества с редкими признаками их взаимодействия на коллоидной стадии развития. Подобные образования относятся к экструзиям диапирового происхождения (к диапировым шляпам), т. е. являются следствием эпигенетического перераспределения ОВ на заключительной стадии развития диапировых структур. Шунгиты и антракосолиты Шуньгского месторождения имеют практически одинаковые значения  $\delta^{13}\text{C}$ , соответственно -37,07 и -37,36‰ [2, 12], что указывает на то, что шунгитовое вещество пород можно отнести к бывшей незрелой нефти (в зарубежной литературе такую нефть часто называют как pre-oil).

Таким образом, максовиты и шунгиты являются примерами полигенного и полихронного генезиса высокоуглеродистых пород с концентрацией углерода, не характерной для осадков палеопротерозоя. Этот процесс эпигенетического перераспределения ОВ необходимо учитывать при расчетах среднего содержания первичного ОВ в породах заонежской свиты и, в конечном счете, при расчетах биопродуктивности палеобассейна.

*Перераспределение ОВ под влиянием интрузий основных пород.* Роль магматических тел в локальном перераспределении ОВ шунгитоносных пород хорошо иллюстрируют данные изучения участка «Лебещина». На участке широко проявлены базальты, габродолериты, алевропесчаники, кремнистые алевролиты, а так же шунгитоносные породы (второй горизонт). Природа шунгитового вещества в габбро-долеритах миграционная (источник – ОВ максовитов), частично оно ассимилировано из ксенолитов осадочных пород с ОВ. На Максовском участке долериты на контакте с высокоуглеродистыми породами обуглерожены. Шунгитовое вещество также выполняет миндалины, проникает в миндалекаменные долериты по трещинам, формирует жилы мощностью до нескольких сантиметров. Жилы с шунгитовым веществом встречаются и в центральной части силлов, однако и в подошве, и в кровле их значительно больше. В дайке Максовского месторождения подобные жилы встречены по всей поверхности, соприкасающейся с телом залежи максовитов.

*Перераспределение ОВ за счет миграции углеводородов.* В породах нижнего протерозоя Карелии твердые битумы представлены в основном высшими антракосолитами. Катагенез керогена шел ускоренно при локальном тепловом влиянии силлов, покровов и даек основных пород, а также из-за общего повышенного геотермического градиента, характерного для палеорифтов. В таких условиях образовывались нафтоиды – УВ с высоким содержанием олефинов, склонные к полимеризации и потому, вероятно, в большей своей части не обладающие способностью к дальней миграции.

Для битумов наиболее характерна жильная форма. На месторождении Шуньга – это линзовидные, быстро выклинивающиеся скопления, иногда субпластовые жилы мощностью до 0,4 м, приуроченные, как правило, к кровле пластов шунгитов, образующих своды антиклинальных складок; помимо этого антракосолиты нередко заполняют тонкие прожилки в доломитах и лидитах. В Чеболакшской губе выявлены две пересекающиеся под прямым углом жилы антракосолита в максовите. На Максовском месторождении известна жила антракосолита в брекчированном максовите. На Зажогинском месторождении известны крупные жилы кварца с включениями антракосолита. Антракосолит участка «Красная горка» заполняет субвертикальную жилу в максовите; это гнездовые выделения с размером до 2 см; одновременно в этой жиле присутствует система жил, напоминающая лестничную форму, заполненных антракосолитом. В. М. Тимофеевым [10] описаны антракосолиты, встречающиеся в крупных жеодах среди шаровых лав суйсарской свиты: о-в Суйсарь, Шардонские острова, острова Чеболакшской губы, мыс Педра-Кара Кондопожской губы Онежского озера (бывшие УВ, выделившиеся из гидротермального раствора).

Наряду с широко известными макропроявлениями высших антракосолитов, шунгитоносные породы содержат разнообразные микропроявления миграционного углеводородного вещества. Оно выполняет прожилки и жеды, заполняет поры и мельчайшие трещинки, образует зоны пропитки, присутствует в мелких выделениях изометричной или неправильной формы. Детальное описание микропроявлений миграционных УВ приведено в работе Н. С. Бискэ [1].

*Коллекторы углеводородов и признаки их разрушения.* Получены данные, указывающие на то, что над купольными структурами развивается локальная, блоковая тектоника, идет интенсивное брекчирование лидитов, известняков и доломитов; в которых цементом служит антракосолит и, реже, органо-минеральное (смешанное) вещество, выжатое из верхней части купола. Предполагается, что процесс брекчирования прямо связан с развитием диапировой структуры, поскольку его интенсивность затухает по мере удаления от центра купола. Брекчии являются свидетельством массового эпигенетического перераспределения ОВ за счет миграции УВ из купольных структур. Эти процессы развивались под воздействием аномально высокого пластового давления (АВПД), возникающего на стадии катагенеза органического и минерального вещества. Зоны развития АВПД фиксируются в апикальных частях купольных структур как разуплотнение органоглин, выраженное массовым проявлением миндалин, заполненных кварцем и антракосолитом.

Высшие антракосолиты, являющиеся продуктом углефикации УВ, мигрировавших на дальнее расстояние от материнских пород и заполнивших межзерновое пространство типичных коллекторов нефти – песчаников, выявлены при разбуривании Сайнаволоксской вулканно-тектонической структуры и изучены Т. А. Ивановой и И. С. Оношко [4].

Седиментационные формы проявлений антракосолитов встречаются в туфосланцах Нигозерского месторождения (кондопожская свита калевийского надгоризонта). Большинство исследователей [8] рассматривают битумы

как результат высачивания УВ из ловушек, сформированных в породах суйсарской и заонежской свит, и последующего отложения в бассейне кондопожского времени. Антраколитоносный горизонт на месторождении Нигозеро имеет широкое площадное распространение и мощность до 80 м. Следовательно, в калевии существовал длительный, период разрушения коллекторов, сформированных в верхних горизонтах заонежской свиты, переноса и перезахоронения УВ в осадках прибрежных фаций.

*Рассеивание ОБ при гипергенном разрушении и переотложении пород заонежской свиты.* Вулканогенно-осадочные породы кондопожской свиты в пределах синклинали слагают ядра нескольких структур второго порядка западнее оз. Космозеро; мощность свиты до 530 м; породы содержат терригенный материал, включающий шунгитоносные породы заонежской свиты. Сохранности ОБ в зоне гипергенеза благоприятствовали: активная тектоническая деятельность, низкие концентрации кислорода в атмосфере, препятствующие его окислению, высокие скорости седиментации в районах активной вулканической деятельности. В структурах второго порядка шунгитоносные породы распространены не на всей площади, а лишь в замковых северо-западных частях. При движении на юго-восток шунгитоносный разрез в большей своей части замещается бесшунгитовым, который в общих чертах сохраняет черты строения, свойственные стратотипу. В этих участках структур присутствие шунгитового вещества ограничивается только груборитмичной частью разреза, где оно встречается в виде редких обломков в конгломератах, в гравелитах и песчаниках, а в распыленном состоянии обогащает тонкие (0,1-1 мм) слойки альбит-хлоритовых сланцев в кровле ритмов.

*Исследования проведены при финансовой поддержке программ Президиума РАН № 25 (2003-2005 гг.) и № 18 (2006-2007 гг.).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бискэ Н. С. Микропроявления миграционного углеродистого вещества в залежах максовитов // Материалы всерос. конф. «Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минерация Северо-Запада России». Петрозаводск. 2007. С. 46-49.
2. Галдобина Л. П., Шидловски М., Соколов В.А. и др. Исследования шунгитов нижнего протерозоя Карелии методом углеродных изотопов // 27-й Междунар. геол. конгр.: Тез. докл. М. 1984. Т. 2. С. 292.
3. Горлов В. И. Онежские шунгиты (геология, генезис, прогнозная оценка) / Дис. канд. г.-м. наук. Петрозаводск. 1984. 226 с.
4. Иванова Т. А., Оношко И. С. Битумы в районе Сайнаволоксской вулканно-тектонической структуры // Органическое вещество шунгитоносных пород Карелии (генезис, эволюция, методы изучения). Петрозаводск. 1994. С. 123-128.
5. Лопатин Н. В. Эволюция биосферы и горючие ископаемые // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1979. № 7. С. 5-22.
6. Лопатин Н. В. Образование горючих ископаемых. М. 1983. 192 с.
7. Михайлов В. П. Купряков С. В. Отчет о результатах детальной разведки юго-восточной (Максовской) залежи Зажогинского месторождения шунгитовых пород за 1982-85 гг.: Фонды ККГРЭ. Петрозаводск. 1985. 13 с.
8. Мишунина З. А. Литогенез органического вещества и первичная миграция нефти в карбонатных формациях Л. 1978. 152 с.
9. Пеньков В. Ф. Генетическая минералогия углеродистых веществ. М. 1996, 224 с.
10. Тимофеев В. М. К генезису Прионежского шунгита // Тр. Ленингр. общества естествоиспытателей. 1924. Т. 39. Вып. 4. С. 99-122.
11. Филиппов М. М. Шунгитоносные породы Онежской структуры. Петрозаводск. 2002. 280 с.
12. Melezhih V. A., Fallick A. E., Filippov M. M. et al. Karelian shungite – an indication of 2.0-Ga-old metamorphosed oil-shale and generation of petroleum: geology, lithology and geochemistry // Earth-Science Reviews. 1999. V. 47. P. 1-40.

#### ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ШУНГИТОНОСНЫХ БРЕКЧИЙ НИЖНЕГО ПРОТЕРОЗОЯ ОНЕЖСКОЙ СТРУКТУРЫ

**Филиппов М. М., Первунина А. В., Силакова Л. В.**

Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск, filipov@krc.karelia.ru

В Онежском синклинали, в людиковийском надгоризонте, много брекчированных разновидностей шунгитоносных пород, шунгитовое вещество которых, находится на предграфитовой стадии углефикации. Основы литологии брекчий осадочных пород наиболее полно изложены в работах [4, 7]. Разнообразные по генезису брекчии классифицируют по основному механизму брекчирования, а также по составу и форме обломков, по типу цемента. Среди описанных в научной литературе отсутствуют брекчии, развитые по породам с органическим веществом (ОБ) или в которых оно присутствует в качестве цемента. Вероятно, это можно объяснить тем, что наиболее изученные горючие сланцы фанерозоя катагенетически слабо преобразованы. Например, кукурситы Эстонии, содержащие до 45% ОБ, сохраняют прерывистую тонкую горизонтальную слоистость без признаков трещиноватости; в них ОБ еще не реализовало свой нефтяной потенциал.