

ЧЕРНЫЕ СЛАНЦЫ КАК ПРОИЗВОДНЫЕ НАФТИДНЫХ РАЗГРУЗОК. НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ СЛАНЦЕВЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Г.А. Беленицкая

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), г. Санкт-Петербург, e-mail: ankudinovo@mail.ru

Одним из основных литологических объектов – носителей разных типов нетрадиционных ресурсов углеводородов являются высокоуглеродистые или черносланцевые комплексы (ЧС). Их главная особенность – аномально высокие концентрации органического вещества (ОВ). Многие стороны геологии ЧС остаются слабо изученными. В наибольшей степени это касается закономерностей латерального и вертикального макро- и микростроения. Актуальность этого вопроса резко возросла в связи с обозначившейся проблемой нетрадиционных ресурсов сланцевых углеводородов. Одной из причин недостаточной изученности ЧС, по нашему мнению, является односторонний подход к определению генезиса их главного компонента – ОВ.

Ключевой вопрос генезиса ЧС – причины «внезапных» появлений (а затем, исчезновений) аномальных концентраций ОВ – является и наиболее спорным. Существуют две основные группы решений.

Представители одной из них, традиционной, объясняют массовое накопление ОВ оптимальным сочетанием благоприятных глобальных и региональных факторов (эвстатических, гидрологических, климатических и др.), определяющих вспышки продуктивности «нормально-бассейновых» биоценозов, а возникающее в итоге «перепроизводство» биомасс считают причиной эвтрофикации водоемов, развития аноксидных обстановок, гибели организмов, захоронения и сохранения ОВ в осадках.

Представители альтернативного направления в качестве главного фактора предполагают неблагоприятные стрессовые воздействия интенсивных разгрузок восходящих флюидов, резко нарушающих экологический баланс и вызывающих гибель большинства бассейновых биоценозов и вспышки развития цианобактериальных сообществ. В этой группе нетрадиционных решений наиболее известна «урановая» модель С.Г. Неручева (2007), в которой акцент делается на поступления урана. В рассматриваемой нами – «нафтидной» модели (Г.А. Беленицкая, Е.М. Поплавко, Р.П. Готтих, Б.И. Писоцкий, Б.М. Валяев) – определяющая роль отводится избыточному поступлению в составе разгрузок углеводородов, часто металлоносных.

При обосновании нефтяной модели мы использовали разноплановую информацию: о современных природных УВ-разгрузках, об их техногенных аналогах и о соответствии их следствий типоморфным особенностям ЧС осадочных разрезов. Помимо итогов многолетних исследований автора (Беленицкая, 2010, 2011), привлечены материалы из многочисленных отечественных и зарубежных публикаций.

Эколого-седиментационные производные современных природных и техногенных нефтяных разгрузок и разливов

В современных естественных (природных) УВ-разгрузках участвуют нефтяные УВ, газы (СН, СО₂, Н₂С и др.), подземные «нефтяные воды», а также их смеси, широко варьирующие по составу, температуре, генезису, месту образования и т.д. За последние десятилетия знания о разных типах таких разгрузок (их масштабах, распространенности, биоценологических и седиментационных следствиях) существенно расширились, чему особенно способствовали международные морские исследования.

С очагами УВ-содержащих разгрузок на поверхности морского дна и в верхнем слое подстилающих осадков повсеместно ассоциируют их биоценологические и минерально-геохимические «производные» – «gas-derived», «gas-induced» (G. Aloisi, С. Pierre, М. Peterson, К. Oly, S. Lance, М. Sibuet, S. Ritger, М. Novland, Л. Лобье, А.Ю. Леин, М.К. Иванов, Е.Ф. Шнюков и др.). Наиболее общим звеном таких производных являются циано-бактериальные сообщества, которые во многом обеспечивают переработку УВ-компонентов, их утилизацию и накопление в осадках органо-минеральных масс. Основой таких сообществ являются хемосинтетические и метанотрофные микроорганизмы, способные потреблять УВ-компоненты по сути любого состава, переводить в формы, доступные для использования другими организмами, и в конечном счете, обогащать ими осадки. В осадках они образуют циано-бактериальные слои-маты, пленочные тела, разномасштабные биохомогенные и криптобиогенные постройки, корковые, конкреционные, воронкообразные и прочие выделения. Их важнейший «сквозной» компонент – органическое (углеродистое) вещество. Кроме того, в их сложении участвуют разные минеральные виды: карбонаты, фосфаты, сульфиды, сульфаты, кремнистые минералы, глауконит и другие алюмосиликатные, чаще глинистые, минералы, цеолиты, состав которых определяется макро- и микрокомпонентным составом УВ-содержащих флюидов.

Анализ следствий техногенных разливов и выбросов УВ-содержащих флюидов – нефтей, газов, сточных «нефтяных» вод – вносит весомый вклад в освещение проблемы поведения УВ в природной водной среде и их воздействия на экологические и седиментационные системы. Особенно познавательны результаты исследований аварийных нефтяных разливов (по данным А. Нельсон-Смит, С.А. Патины, И.А. Немировской и др.). Эти разливы концентрированно и адекватно фиксируют геологически мгновенные картины «нафтогенных» событий и могут служить их моделями (Беленицкая, 2010).

Сравнительный анализ биоценологических и седиментационных эффектов естественных (природных) и техногенных УВ-разгрузок–разливов позволил более полно охарактеризовать их биогенные и абиогенные седиментационные следствия. Если наблюдаемые естественно-природные разгрузки в наибольшей мере характеризуют придонные приочаговые УВ-проявления, то аварийные разливы – приповерхностные их эффекты. Вместе они дают более полную картину нафтогенных следствий.

Одним из основных общих экологических следствий УВ-разгрузок и разливов является взрыв продуктивности микробных альго-циано-бактериальных биоценозов – доминантов сообществ, утилизирующих УВ-продукты. Ликвидация значительной части УВ и накопление микробной биомассы – ключевые процессы, в которых микроорганизмы служат биологическим инструментом перевода «неживых» форм углерода УВ в биологические «живые» субстанции.

Главный седиментационный итог УВ-разгрузок–разливов – тонкий слой (сплошной или прерывистый) темных отложений с повышенным содержанием ОВ (илистых (хемогенно-глинистых) – в глубоководных обстановках и более грубозернистых – в прибрежных). Характерные черты слоя ОВ: однородное, неравномерно комковатое или хлопьеобразное сложение, наличие нефтяных сгустков, пленок, пропитки и обволакиваний частиц, субгоризонтальное залегание, резкие ограничения, прерывисто-региональное распространение. В составе ОВ преобладают две структурно-морфологические разновидности: 1) количественно преобладающая относительно гомогенная новообразованная органическая (органо-кремнисто-глинистая) масса (клеточно-микробная альго-циано-бактериальная и «бесструктурная» коллоидальная с разным количеством остаточных продуктов деградации УВ); 2) форменные макроэлементы, неравномерно рассеянные или образующие разные типы скоплений:

нефтяные «агрегаты» и органогенные образования (пропитанные УВ захоронения доаварийных биоценозов). В основании слойка рассеяны разнообразные биоминеральные тела и мелкие органогенные постройки, многие из которых непосредственно фиксируют подводные каналы и устья очагов УВ-разгрузок.

Помимо высокоуглеродистых илистых осадков в разных седиментационных обстановках возникают другие типы одновозрастных нефтогенных образований (рис. 1).

Нефтогенная природа захороненного ОВ фиксируется и в ряде его специфических макро-, микро- и нанохарактеристик (повышенные содержания липидов, УВ, водорода, а также изотопный состав углерода ОВ) [Беленицкая, 2010].

Среди биоминеральных аутигенных новообразований, сопутствующих ОВ в нефтогенном слойке (и частично в его субстрате), преобладают кремнистые, карбонатные, фосфатные, сульфидные и др. (по данным Ю.И. Пиковского и др.) Их возникновение связано с газовыми производными полного распада УВ (CO_2 , H_2S и др.) и с ионно-солевыми составляющими сопутствующих «нефтяных» вод. От их микроспециализации зависит и микрогеохимическая специализация осадков. Наиболее значительные концентрации образуют S, Ni, V; часты повышенные содержания Co, Pb, Cu, As, Hg, U, Mo и др.

Структурные и микроструктурные особенности слойка во многом определяются типами слагающих макро- и микрокомпонентов и их соотношениями, а его пространственные показатели отражают характер ореолов влияния нефтяных разгрузок–разливов, в том числе их «обширность», относительную афациальность распространения, внутреннюю зональность и др. Каждый нефтогенный слойка выступает как проявление единичного импульса интенсивной разгрузки, а слойчатость – как проявление их множественности.

Сопоставимость типоморфных особенностей ЧС и нефтогенных осадков

ЧС осадочных разрезов обладают набором типоморфных признаков и аномальных макро- и микросвойств, обсуждавшихся в многочисленных публикациях (О.К. Баженова, А.И. Гинзбург, С.И. Жмур; Н.В. Лопатин, С.Г. Неручев, Я.Э. Юдович и др.). Их специальное обобщение выполнено нами в работах (Беленицкая, 2010, 2011). Главные их особенности:

- резко повышенные содержания ОВ;

- преобладание в микрокомпонентном сложении ОВ гомогенных масс: клеточно-микробных, преимущественно альго-циано-бактериальных и/или коллоидно-бесструктурных, изотропных;

- бедность и однообразие таксономического состава макро- и мезобиот, с заметным развитием лишь отдельных таксонов, нередко имеющих выраженную «углеродистую» и/или ту или иную минеральную специализацию;

- контрастный переход от «досланцевых» нормально-бассейновых сообществ к «сланцевым» микробным, нередко подчеркнутый пограничными захоронениями, в том числе прижизненными; присутствие тонких отпечатков-слепков, зафиксированных блестящими пленками ОВ; резкий возврат от сланцевых сообществ к исходным, лишь несколько измененным;

- обогащенность различными мезо- и микроэлементами (P, Ba, Mn, U, V, Mo, Re, Se, Ni, Cu, Zn, Pb, Au, Hg и др.), аномально высокая, разнообразная и разномасштабная «металлоносность» и богатейшая продуктивность;

- тонкая горизонтальная слойчатость до листоватости;

- согласованность появления, а затем исчезновения всех специфических признаков;

- широкое региональное распространение при выдержанности границ и сравнительно небольшой мощности пачек и горизонтов;

- наличие разнообразных литологических типов (пропитка, импрегнация, выделения и скопления «твердого битума», кольма и др.);

- распространенность отложений практически с любыми фациальными, климатическими и физико-химическими характеристиками.

Легко обнаруживается сопоставимость, а порой и полная идентичность типоморфных особенностей природных ЧС с эколого-седиментационными показателями современных природных и техногенных нефтогенных осадков. Тонкая слойчатость ЧС выступает как индикатор режима разгрузок. Их фациальные типы сопоставимы с зональными типами нефтогенных образований.

Все это позволяет более уверенно рассматривать современные нефтогенные осадки (природные и техногенные) как возможные гомологи ЧС прошлого, а масштабные природные былые поступления УВ-флюидов – как фактор, способный вызвать их накопление.

О былых масштабных УВ-разгрузках – источниках ОВ и металлов в ЧС

Для реализации масштабных УВ-разгрузок–разливов необходимы, как минимум, два условия: во-первых, существование в период осадконакопления в земных недрах мощных источников УВ; во-вторых, проявления тектоно-термальной и флюидной активности, вызывавших интенсивную эмиграцию УВ-флюидов, перетоки и масштабные разгрузки в бассейн седиментации.

Отчетливая картина локализации масштабных УВ-разгрузок в протяженных глобальных поясах неогеодинамической активности (для неотектонического этапа), находит аналогии в прошлом, прежде всего, в синхронности процессов накопления ЧС с импульсами тектогенеза и их пространственной сопряженности. Преобладают два главных механизма разрушения нефтегазоносных структур, сопряженных с двумя видами геодинамических режимов: 1) сжатие (раздавливание, выдавливание); 2) растяжение, глубокий разрыв литосферы, способствующие активной миграции УВ-флюидов в глубь Земли.

Грандиозность масштабов былых эмиграций УВ подтверждают балансовые оценки масштабов высвобождения УВ, неоднократно проводившиеся с использованием разных показателей (Н.В. Лопатин, С.Г. Неручев, А.В. Сидоренко, Св.А. Сидоренко, Г.И. Войтов, М.В. Иванов, А.Ю. Леин, Б.М. Валяев и др.).

Региональная апробация нефтогенной модели

Анализ ЧС как вероятных древних гомологов современных нефтогенных осадков был выполнен для ряда регионов, наиболее детально – для Балтийского осадочного палеобассейна, выбранного нами в качестве эталонного объекта (Беленицкая и др., 2006; Беленицкая, 2011). Здесь были проведены комплексные литологические, биотические и изотопно-геохимические и палеогеодинамические исследования кембро-ордовикских отложений. Изучены два уровня высокоуглеродистых образований: диктионемовых сланцев и кукерситов. Для тех и других прослежены интенсивные и тесно взаимосвязанные минерально-геохимические, биотические, структурно-морфологические и изотопные аномалии с признаками воздействия былых УВ-разгрузок. Установлены тяготение депоцентров ЧС к зонам долгоживущих тектонических нарушений, корреляция времени их накопления с интервалами повышенной тектонической активности, проявившейся в обрамлениях Балтийского бассейна и в фундаменте склона Балтийского щита.

Сходные признаки и зависимости были прослежены для ЧС и в ряде других регионов России (Беленицкая, 2011). Наблюдаемые вариации характеристик ЧС разных стратиграфических уровней в разных регионах отражают (наряду с особенностями бассейновых палеообстановок) фазовые, геохимические и другие различия тех УВ-содержащих флюидов, которые приняли участие в их образовании.

Принципиально близкие убедительные результаты получены Р.П. Готтих и Б.И. Писоцким (2006), Б.М. Валяевым (2011) в ходе детальных литолого-геохимических исследований доманиковых отложений ряда регионов.

Итоги разностороннего анализа ЧС подтверждают вероятность участия в их формировании УВ-разгрузок и нефтегенных процессов.

О вкладе нефтегенной модели в решение некоторых проблем сланцевых углеводородов

Признание ОВ углеродистых комплексов производными глубинных УВ-разгрузок расширяет возможности познания этих комплексов и позволяет рассматривать их как единую систему участников флюидно-нафтидных воздействий на фоновый седиментогенез. С этих позиций можно лучше понять ряд важных особенностей внутреннего устройства этой системы, ее макро- и микроструктуры, внешних взаимосвязей.

Все это может служить важным инструментом оценки и познания высокоуглеродистых комплексов и как источников, и как носителей разных типов нетрадиционных скоплений УВ-сырья. В этой связи особенно важна дополнительная возможность раскрытия закономерностей латерального и вертикального строения углеродистых комплексов, структурно-вещественных и пространственных их неоднородностей и характера распределения в них ОВ. В полной мере это касается УВ сланцевых плеев – нефтяных (керогеновых) сланцев и низкопроницаемых (tight) пород.

Принятие нефтегенной модели может способствовать изучению природы самих УВ-разгрузок и расшифровке их возможных источников. В частности, нефтегенная модель обращает внимание на вероятность наличия в ОВ генетических меток двух типов, во-первых, биогенных, локализованных как в цианобактериальных «утилизаторах» нафтидов, так и во всех других группах захороненных макро- и микробиоценозов. (С этих позиций наличие в ОВ биогенных маркеров является закономерным следствием их генезиса и перестает быть аргументом в пользу его «чисто» биогенного происхождения),

во-вторых, меток глубинных, в том числе абиогенных, сосредоточенных (сохраненных) в большей мере в остаточных УВ-продуктах разгрузок, избежавших биодеградаци и полной биогенной трансформации. Именно последние в максимальной степени могут способствовать обнаружению признаков глубинных источников разгрузок, ответственных за образование как ОВ нефтидных осадков, так и за их металлоносность. Биогенная трансформация УВ выступает своеобразным очистителем – «детергентом», стирающим глубинные метки.

В процессе изучения биогенных маркеров к настоящему времени достигнуты высокие результаты. Проблема же глубинных меток в ОВ черных сланцев только ставится, конкретные исследования находятся, скорее, на стадии поиска, хотя уже получены важные результаты (Ю.Д. Пушкарев, Р.П. Готтих, Б.И. Писоцкий, А.А. Маракушев, Б.М. Валяев). Наиболее обнадеживающие и эффективные направления исследований касаются выявления изотопного состава углерода из разных углеродсодержащих соединений, соотношений между радиогенными изотопами (Sr, Nd, He и др.) и сравнительного анализа распределения микроэлементов, особенно урана, рения, платиноидов и лантаноидов (Готтих и др., 2012). Нефтидная модель может способствовать дифференцированному подходу к выбору материала в составе ОВ и в сопутствующих минерально-геохимических образованиях для поиска индикаторов источников поступления УВ и меток их генезиса.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 10-05-00555-а).

ЛИТЕРАТУРА

Беленицкая Г.А. Аварийные разливы нефти как модель черносланцевых событий геологического прошлого // Региональная геология и металлогения. 2010. № 42. С. 17-33.

Беленицкая Г.А. Роль глубинных флюидов в осадочном пороодо- и рудообразовании // Дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений. М.: ГЕОС, 2011. С. 143-188.

Беленицкая Г.А., Журавлев А.В., Колокольцев В.Г. Признаки флюидных палеовоздействий на осадочные процессы в кембро-ордовикских отложениях Балтийского палеобассейна // Осадочные процессы: седиментогенез, литогенез, рудогенез: материалы литологического конгресса. М., 2006. Т. 1. С. 301-303.

Валяев Б.М. Нетрадиционные ресурсы и скопления углеводородов: особенности распространения и процессов нефтегазонакопления // Дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений. М.: ГЕОС, 2011. С. 390-404.

Готтих Р.П., Писоцкий Б.И. К вопросу о формировании нефтематеринских толщ // Георесурсы. 2006. № 4. С. 6-10.

Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории Земли. 2-е изд. СПб.: ВНИГРИ, 2007. 328 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

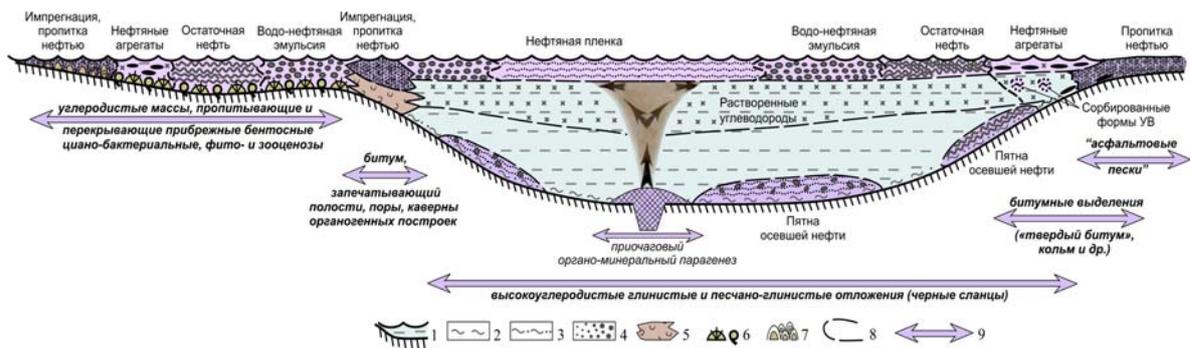


Рис. 1. Соотношение зональности распределения продуктов распада нефти (черные стрелки – основные направления перемещения нефти и продуктов ее распада) и высокоуглеродистых нефтогенных образований в осадках (надписи под профилем).

Сост. Г.А. Беленицкая

1 – водоем; 2–7 – преобладающие типы «фоновых» отложений и биоценозов: 2 – глинистые, 3 – песчано-глинистые и глинисто-песчаные, 4 – песчаные и песчано-гравийные, 5 – рифогенные, 6 – мелководные бентосные фито- и зооценозы (ракушняково-губково-кораллово-водорослевые заросли, «луга»), 7– прибрежные строматолитовые; 8 – ориентировочные границы между разными видами ореолов распространения продуктов распада нефти; 9 – основные области распространения разных видов нефтогенных высокоуглеродистых образований в осадках