

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ НАФТИДНЫЕ РАЗГРУЗКИ — КЛЮЧ К ПОЗНАНИЮ ПРИРОДЫ ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ

Г.А. Беленицкая

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского,  
Санкт-Петербург, [ankudinovo@mail.ru](mailto:ankudinovo@mail.ru)

Высокоуглеродистые (черносланцевые) комплексы — важный междисциплинарный объект, обладающий высоким и разнообразным ресурсным потенциалом. Главная их особенность — аномально высокие концентрации органического вещества (ОВ). Вопрос о причинах их «внезапного» появления (а затем исчезновения) является ключевым и наиболее спорным. Можно выделить две основные группы решений. Представители одной, традиционной, объясняют массовое накопление ОВ оптимальным сочетанием *благоприятных* глобальных и региональных факторов (эвстатических, гидрологических, климатических и др.), определивших вспышки продуктивности «нормально-бассейновых» биоценозов, а возникшее в итоге «перепроизводство» биомасс считают причиной эвтрофикации водоемов, гибели организмов и сохранению ОВ в осадках. Представители альтернативного направления в качестве главного фактора предполагают *стрессовые* воздействия интенсивных разгрузок восходящих флюидов, вызывающих гибель бассейновых биоценозов и вспышки развития цианобактериальных. Наиболее известна модель С.Г. Неручева, в которой акцент делается на поступления урана и других металлов. В рассматриваемой нами модели этой же группы (Г.А. Беленицкая, Е.М. Поплавко, Б.М. Валяев) определяющая роль отводится присутствию в составе разгрузок углеводородов (УВ) — нефтей, газов, нефтяных вод, часто металлоносных. К анализу этой модели мы привлекли информацию о современных природных УВ-разгрузках и о различных их техногенных аналогах — об их распространенности, трансформациях, экологических и седиментационных следствиях. С позиций седиментологии обобщены и систематизированы материалы отечественных и зарубежных публикаций и Интернета.

В *современных естественно-природных УВ-разгрузках* участвуют нефтяные УВ, газы (СН, СО<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>S 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 итоги международных морских исследований.

Очагами УВ-разгрузок служат разнообразные локализованные или рассеянные источники, сипы, покмарки, факелы, высачивания, разливы, а также грязевые вулканы, соляные диапиры и др. Важный элемент очагов разгрузки — их подводящие (корневые) системы и ореолы, в пределах которых проявляется активное влияние разгрузки — вещественное, физико-химическое, биотическое и др. Вместе они создают аномальные, отличные от фоновых, «нафтогенные» биотопы, характеризующиеся своими физико-химическими и биотическими показателями, морфологией, структурой, зональностью, динамикой возникновения и исчезновения.

Общая картина современного распространения на земном шаре УВ-разгрузок демонстрирует (Беленицкая, 2011а): 1) широкий и разнообразный диапазон обстановок распространения — и ландшафтно-морфологических, и геодинамических, и климатических; 2) сопряженность разных типов разгрузок, образующих масштабные скопления — узлы, протяженные зоны и глобальные пояса; 3) зависимость размещения этих скоплений от характера неогеодинамической активности с преимущественной локализацией в пределах активных поясов (включая их периферические области) — рифтогенных, активизированных пассивных окраин, активноокраинных, коллизионных.

Интенсивность и масштабы УВ-потоков (характеризуемые дебитами, количеством очагов, частотой и длительностью активных фаз и т.д.) чрезвычайно высоки, а иногда грандиозны, особенно потоков, сопряженных с грязевым вулканизмом и активным соляным диапиризмом. Объем УВ-изливов при грязевулканических извержениях огромен. Суммарные дебиты УВ-газов — свыше 100 м<sup>3</sup>/сут., жидкой УВ-содержащей «грязи» — свыше 5 т/сут. Общий вынос

метана при грязевом вулканизме — до 27 Тг/год (Леин, Иванов, 2009). В фазы активности соляного диапиризма интенсивная разгрузка нередко приобретает характер катастрофических выбросов смесей газов, рапы и дробленой соли – своеобразного УВ-рассольно-соляного «вулканизма» (Беленицкая, 2011б). Прямыми проявлениями локализованных нефтяных разгрузок являются нефтяные озера, субмаринные «асфальтовые потоки» и «асфальтовые вулканы» — результаты подводных извержений, разливов и др. Косвенно масштабность современной активности УВ-разгрузок характеризует широчайшая распространенность газогидратов, поля развития которых совпадают с зонами проявления разгрузок.

Характерная черта разных видов УВ-разгрузок — их максимальная локализация в одних и тех же регионах — в своеобразных гигантских «узлах» разгрузки. К их числу можно отнести многие нефтегазоносные бассейны, локализующиеся вокруг акваторий. В фазы тектонических перестроек, когда происходит деформация и раздавливание самих носителей УВ — нефтегазоносных комплексов и целых нефтегазоносных бассейнов и поясов, масштабы и скорости выноса УВ возрастают, по-видимому, на порядки. Важным показателем их масштабов могут служить колоссальные скопления тяжелых нефтей, битумов, асфальтов (измеряемые десятками и сотнями млрд т), возникающие чаще всего либо на фронтах складчато-надвиговых систем, формирующихся при смятии нефтегазоносных комплексов, либо в областях их приповерхностного разрушения и трансформации.

С очагами УВ-разгрузок на поверхности морского дна и в верхнем слое подстилающих осадков повсеместно ассоциируют биоценотические и минерально-геохимические «производные» — «gas-derived», «gas-induced» (G. Aloisi, C. Pierre, M. Peterson, K. Oly, S. Lance, M. Sibuet, S. Ritger, M. Novland, Л. Лобье, А.Ю. Леин, М.К. Иванов, Е.Ф. Шнюков и мн. др.). Именно они определяют характер седиментационных (и сопряженных раннедиагенетических) проявлений разгрузок. Спектр таких производных, возникающих на разных видах восходящих разгрузок, весьма разнообразен. Наиболее общим их звеном являются циано-бактериальные сообщества, которые во многом обеспечивают переработку УВ-компонентов, их утилизацию и накопление в осадках. Основой разных видов таких сообществ являются хемосинтетические и метанотрофные микроорганизмы, способные потреблять УВ-компоненты по сути любого состава, переводя в формы, доступные для использования другими организмами, и в конечном счете обогащая ими осадки. Производные УВ-разгрузок образуют в осадках циано-бактериальные слои-маты, пленочные тела, разномасштабные биохемогенные и криптобиогенные постройки, корковые, конкреционные, воронкообразные и т.п. выделения, образования типа «твердого дна», микроползневые, био- и флюидотурбированные осложнения. Их важнейший «сквозной» компонент — органическое (углеродистое) вещество. Минеральный состав аутигенных неорганических компонентов и геохимические особенности осадков определяются макро- и микрокомпонентным составом УВ-флюидов.

Особенно широки ареалы и значительны масштабы нафтогенных осадков, связанных с УВ-разгрузками, сопровождающими грязевулканическую активность. В их составе весьма существенную роль играют углеродистые и карбонатные осадки — производные метана и других УВ. Значительному распространению здесь ОВ способствует высокий процент их микробной утилизации: 10–65 % потока метана не рассеивается, потребляясь метанотрофными сообществами, фиксирующими его (и его производные) *in situ* в бактериальных матах и других биоценозах (Леин, Иванов, 2009). Широко представлен комплекс производных УВ-флюидов и в характерном элементе грязевулканической деятельности — в отложениях, выполняющих компенсационные впадины. Сходные высокоуглеродистые комплексы — производные циано-бактериальных сообществ — типичны для бассейнов, где осуществляются УВ-рассольные разгрузки (Беленицкая, 2011а и др.).

Изучение следствий *техногенных разливов и выбросов УВ-содержащих флюидов* — нефтей, газов, сточных «нефтяных» вод — вносит весьма весомый вклад в освещение проблемы поведения УВ в природной водной среде и их воздействий на экологические и седиментационные системы. Особенно познавательны результаты исследований аварийных нефтяных разливов. Именно им вынужденно оказывается особое внимание из-за необходимости оперативного мониторинга и поиска способов ликвидации их катастрофических последствий. Сами же катастрофы

концентрированно и адекватно фиксируют геологически мгновенные картины «нафтогенных» событий и могут служить их моделями (Беленицкая, 2010). Наиболее масштабны разливы нефти при авариях на нефтяных супертанкерах, буровых платформах, фонтанирующих скважинах, трубопроводах и т.д. С момента поступления нефти в водную среду идут интенсивные процессы ее физико-химических превращений, образуя широкий спектр компонентов (нефтяные пленки, летучие и водорастворимые, водо-нефтяные смеси-эмульсии, нефтяные агрегаты, тяжелый остаток и др.), каждый из которых создает обширнейшие подвижные «ореолы влияния», вместе достигающие гигантских размеров — десятков тысяч км<sup>2</sup> и более (А. Нельсон-Смит, С.А. Патин, И.А. Немировская и др.).

Экологические следствия аварийных разливов масштабны и многообразны. Разрушая и уничтожая существующие «нафтофобные» бассейновые биоценозы, они формируют новые, «нафтофильные». Для основной массы аборигенных обитателей, прежде всего их макро- и мезоформ, нефтяной разлив — своеобразный «нефтяной биоцид», а его следствие — множество захоронений (будущих тафоценозов). Стрессовые воздействия разных компонентов распада нефти так или иначе затрагивают всю паутину трофических и энергетических связей (Е. Bastin, С.Е. ZoBell, В.О. Таусон, Л.Д. Штурм, Г.А. Могилевский и др.). Гибель нафтофобов сопровождается расцветом нафтофильных сообществ УВ-окисляющих микроорганизмов, которые жадно «утилизируют» нефть, одновременно накапливая новое «микробное» ОВ. Бактерии, питающиеся нефтью, образуют начальные звенья пищевых цепей, доминантой которых становятся микробные альго-циано-бактериальные симбиотические сообщества, потребляющие как продукты трансформации нефти, так и самих трансформаторов. Именно эти сообщества, утилизируя нефтепродукты, определяют взрывной рост биопродуктивности с накоплением в итоге микробных масс и продуктов неполной биотрансформации УВ. Т.е. они переводят нефть (значительную ее часть) в биомассу, а затем в некромассу — в ОВ будущих черных сланцев. Важно, что в природных водных средах микроорганизмы, способные окислять УВ, присутствуют повсеместно, являясь по сути «всюдными», хотя «до поры» слабо активными членами экосистем (С.А. Патин, О.Г. Миронов, М.В. Гусев, В.В. Ильинский, Т.В. Коронелли, Т.Л. Симакова, Н.С. Огняник, Ю.И. Пиковский и др.). При поступлении же УВ — источника и энергии и пищи — они резко активизируются, обеспечивая стремительный рост скорости и эффективности процессов утилизации нефти и производства микробной биомассы. Ликвидация нефтяных УВ и накопление микробной биомассы — два ключевых процесса нафтогенной модели, в которых микроорганизмы служат биологическим инструментом перевода минеральных «неживых» форм углерода в биологические «живые». Длительность, скорость и завершенность процессов биодеградации нефти контролируются наличием и количеством ряда компонентов: УВ, кислорода (в аэробных условиях), сульфатов, нитратов (в анаэробных) и элементов-биогенов. При любых соотношениях этих компонентов чрезмерное лавинообразное воспроизводство их потребителей делает неминуемым исчерпание резерва хотя бы одного из них и, как итог, — кризис теперь уже нафтофильных биоценозов, их мор и массовые «захоронения» микробных некромасс.

Нафтофилов сопровождают «спутниковые» сообщества, использующие появившиеся сравнительно легко усваиваемые производные нефти, а иногда и накапливающие их «избыточные» количества. Небольшая часть биоценозов обнаруживает относительную нейтральность — устойчивость или приспособляемость. Все виды биоценозов сходны с характерными сообществами черных сланцев.

Примеси минеральных аутигенных новообразований в поставарийных нафтогенных осадках из-за «мгновенности» их отложения незначительны. Обогащение же микроэлементами зависит как от микроспециализации нефтей, так и особенно от сопровождающих их «нефтяных» вод (Ю.И. Пиковский).

**Сопоставление эффектов естественно-природных и техногенных УВ-разгрузок-разливов** — биоценологических и седиментационных — позволило уточнить специфические черты нафтогенных биоценозов и нафтогенных осадков. Если итоги изучения естественно-природных разгрузок в наибольшей мере характеризуют их придонные проявления, то анализ техногенных разливов вносит наибольший вклад в познание их приповерхностных проявлений.

Вместе они дают более полную картину нефтегенных следствий.

Основным общим экологическим следствием УВ-разгрузок-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 в биологические «живые». Главный седиментационный итог УВ-разгрузок-разливов — тонкий слой темных отложений с повышенным содержанием ОВ нефтегенной природы, илистых в глубоководных обстановках и более грубозернистых в прибрежных. Его характерные черты: однородное, неравномерно комковатое или хлопьевидное сложение, наличие нефтяных сгустков, пленок, обволакиваний частиц, резкие ограничения, субгоризонтальное залегание и прерывисто-региональное распространение. В составе ОВ можно выделить две структурно-морфологические разновидности: 1) количественно преобладающая относительно гомогенная органическая (органо-глинистая) масса — клеточно-микробная альго-циано-бактериальная и «бесструктурная» коллоидальная; 2) форменные макроэлементы, неравномерно рассеянные или образующие разные типы скоплений: нефтяные «агрегаты» и органогенные образования (захоронения доаварийных биоценозов, чаще всего сосредоточенные как и в черных сланцах, в подстилающих отложениях). Разнообразные биохомогенные тела и мелкие органогенные постройки, рассеянные в основании слойка, непосредственно фиксируют устья очагов разгрузки. Нефтегенная природа захораниваемого ОВ проявляется и в ряде его специфических макро-, микро- и нанохарактеристик (повышенные содержания липидов, УВ, водорода, изотопный состав углерода и др.). Геологически быстрое накопление ОВ, согласованность появления и исчезновения в осадке изменений и аномалий определяют синхронность разных частей слойка, его дискретность и сравнительную контрастность границ. Построен фациальный профиль нефтегенных образований, отражающий основные особенности распределения производных физико-химических и микробиологических трансформаций УВ-флюидов в разных седиментационных обстановках. Каждый слойка выступает как проявление единичного импульса УВ-разгрузок-разливов, а множественность таких импульсов формирует микрослойчатость осадка — предпосылки возникновения важного текстурного признака сланцев.

Все это позволяет рассматривать УВ-разгрузки-разливы как фактор, способный вызвать накопление высокоуглеродистых осадков, аналогичных черным сланцам, а нефтегенные осадки — как возможные гомологи высокоуглеродистых отложений. Наблюдаемые вариации характеристик природных черных сланцев отражают (наряду с особенностями бассейновых палеообстановок) фазовые, геохимические и другие различия тех УВ-содержащих флюидов, которые приняли участие в их образовании.

В пользу справедливости нефтегенной модели свидетельствуют предварительные результаты проверки ее приложимости к конкретным черносланцевым палеоситуациям разных регионов. Вместе с тем, очевидна необходимость детального регионального анализа сланцев как древних гомологов нефтегенных осадков с одновременным поиском признаков и свидетельств былых масштабных разгрузок УВ, синхронных их накоплению.

Результаты проведенных сопоставлений могут не только способствовать познанию черных сланцев. Возможны и обратные сопоставления: расшифровка летописи былых природных нефтяных катастроф и их следствий, зафиксированной в черных сланцах, — путь к раскрытию эффективных способов борьбы с ними самой природы.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 09-05-11511-с).*

#### *Литература*

*Беленицкая Г.А.* Последствия нефтяных катастроф глазами седиментолога // *Природа*, 2010. № 2. С. 25–34.

*Беленицкая Г.А.* «Флюидное» направление литологии: состояние, объекты, задачи // *Уч. Зап. Казанского университета. Естественные науки*. 2011а. Т. 153. Кн. 4. С. 97–113.

*Беленицкая Г.А.* Мексиканский залив — центр природных и геотехногенных нефтяных катастроф // *Рег. геол. и металлогения*. 2011б. № 45. С. 51–69.

*Лешн А.Ю., Иванов М.В.* Биогеохимический цикл метана в океане. М.: Наука, 2009. 576 с.