



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-366-379

УДК 502.64

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЛИМНОГЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ, СВЯЗАННЫЕ С ИХ ГЕНЕЗИСОМ

А.А. Рассказов¹, Е.С. Горбатов², Е.Ю. Васильева¹

¹ Экологический факультет

Российский университет дружбы народов

Подольское ш., 8/5, Москва, Россия, 115093

² Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

Б. Грузинская, 10, стр. 1, Москва, Россия, 123242

В статье показано, что залежи углеводородов, связанные с ископаемыми озерными комплексами, представляют собой отдельную генетическую группу осадочных месторождений, отличающуюся по комплексу геологических, геохимических и геоэкологических признаков. Рассмотрены механизмы накопления нефтематеринских пород в озерных бассейнах разного гидрологического типа — сточных, сбалансированных и бессточных. Установлено, что нефти озерного генезиса по сравнению жидкими углеводородами морского генезиса имеют более качественный состав и физико-химические свойства, однако их добыча требует дополнительных экономических и экологических издержек из-за сложных геологических условий залегания.

Ключевые слова: месторождения нефти и газа, озерный литогенез, осадочные бассейны, рифтовые озера, геоэкологические проблемы

Долгое время осадочному веществу озерного (лимногенного) происхождения и его роли в континентальном литогенезе и формировании месторождений полезных ископаемых не уделялось должного внимания, но сегодня именно с ним связывают образование широкого спектра полезных ископаемых, некоторые из которых практически не формируются в иных фациальных обстановках. Связанные с лимногенными толщами залежи полезных ископаемых имеют важное ресурсное значение; они содержат, кроме месторождений строительного сырья (пески, глины, известняки), эвапориты, угли, горючие сланцы, цеолиты, бораты, служат источниками и резервуарами нефти и газа. Наряду с неметаллическими полезными ископаемыми в озерных структурах накапливаются железомарганцевые, медные руды и бокситы [2; 4; 5].

Активному изучению роли озерных обстановок в формировании осадочных формаций и связанных с ними месторождений полезных ископаемых во многом способствовало становление в последние десятилетия лимногеологии в качестве самостоятельного геологического направления [4; 12].

Меньшие объемы, изолированность континентальных водоемов друг от друга и их эфемерность по сравнению с морскими бассейнами, делают озера системами, чувствительными к изменению внешних условий, отличающимися больши-

ми вариациями динамических режимов, химизма вод и экологических условий, отражающимися в широком разнообразии литологического состава осадков [9]. Кроме того, в озерных бассейнах сильнее, чем в морских бассейнах, выражена связь между водным уровнем и пространственным распределением литологических типов осадков, определяющая активность эрозионных процессов на водосборе, крупность сносимых с него обломочных осадков и физико-химические условия среды осадконакопления. Эти особенности способствуют появлению в осадочных формациях разнообразных фациальных ассоциаций и стилей их стратиграфического напластования. Они же определяют, с одной стороны, высокую степень гетерогенности лимногенных полезных ископаемых по составу и условиям залегания, с другой стороны, — указывают на высокую информативность озерных комплексов в качестве индикаторов обстановок формирования многих видов полезных ископаемых [5; 6]. Однако упомянутое разнообразие режимов накопления озерных отложений требуют особой осторожности при их расшифровке и прогнозировании, и подчеркивает важность мультидисциплинарного подхода при изучении осадочных образований озерного генезиса.

Вполне закономерно, что перечисленные особенности накопления озерных комплексов проявляются и при формировании месторождений углеводородов (УВ). Нужно также отметить, что скорость аккумуляции органического углерода в озерных системах в виде сапропелевых илов превосходит аналогичный показатель для морских осадочных бассейнов.

Нефтегазовые месторождения, связанные с озерным веществом, обеспечивают по некоторым оценкам до 20% мировой добычи углеводородов, что показывает их высокую экономическую значимость [8]. Разведка новых месторождений УВ, особенно на глубоких стратиграфических уровнях платформ и континентальных окраин, показывает, что доля лимногенных структур в потенциальных мировых запасах УВ со временем будет только возрастать. Месторождения углеводородов озерного генезиса широко представлены во внутриконтинентальных осадочных бассейнах Африки, Китая, Монголии, Юго-Восточной Азии, в пределах пассивных окраин континентов, в том числе на шельфе Южной Америки, Африки, Северного моря.

Задача работы — выявить связь между условиями формирования, геологическими особенностями месторождений УВ озерного генезиса, особенностями их геохимии и специфическими геоэкологическими проблемами, связанные с разработкой их промышленных скоплений.

Условия формирования нефтематеринских пород озерного генезиса и физико-химические особенности их углеводородов

Отличительной особенностью процесса формирования месторождений нефти и газа является образование углеводородных флюидов в продуктивных (нефтематеринских) осадочных толщах с последующей миграцией в проницаемые породы — коллекторы. Поэтому физико-химические свойства УВ, влияющие на геоэкологические особенности их добычи и переработки, связаны не столько с составом вмещающих пластов, сколько с особенностями нефтематеринских отложений.

Таблица

Сравнительная характеристика генетических типов материнских пород и продуцируемых ими углеводородов по данным работы [7], с дополнениями

Происхождение материнских пород	Генезис ОВ	Физико-химические особенности УВ (на разных катагенетических стадиях)	Особенности термического созревания УВ	Типы месторождений (по стадиям катагенеза)
Морские (прибрежно-морские и дельтовые)	Кероген типа II, сапропелевое рассеянное ОВ	≤ 4% парафина и сернистость ≥0,4—0,5%	Основная генерация нефти происходит в начале мезока-тагенеза	Н→НГК→ГК→УВГ
Озерные	Кероген типа I, III, гумусово-сапропелевое ОВ	≤ 4% парафина и сернистость <0,4%	Такие же	Н→НГК→ГКН→ГК→УВГ
Континентальное (аллювиально-болотные фации)	Кероген типа III, гумусовое ОВ	≥5—6% парафина и <0,3% серы, большое газообразование	Более широкий диапазон генерации, сдвинутый в сторону более высоких температур	УВГ→ГК→ГКН→ГК→УВГ

Примечание. I тип — кероген сапропелевого происхождения богатый липидами клеточных мембран низших водорослей, с высоким содержанием водорода (Н/С индекс) и низким кислородом, преобладают алифатические структуры; кероген этого типа характерен для континентальных горючих сланцев; II тип — сапропелевый кероген, содержание водорода достаточно высокое, но меньше, чем в I типе, содержание кислорода более высокое; кероген формируется вследствие отложения и накопления морских организмов (фито- и зоопланктон, бактерии) в восстановительных условиях; это кероген основной массы нефтематеринских морских толщ; III тип — кероген гумусового происхождения, связанный с наземными или литоральными высшими растениями. Бедный водородом, содержит преимущественно конденсированные полиароматические и кислородосодержащие функциональные группы, он образовался в основном из остатков наземной растительности, это кероген главным образом газоматеринских пород. Типы месторождений: Н — нефтяные; ГК — газоконденсатные; ГН — газоконденсатнонефтяные; НГК — газоконденсатные; УВГ — газовые скопления.

Table

Comparative characteristics of genetic types of sour rocks and hydrocarbons produced by them, according to [7] with additions

Origin of sour rocks	Genesis of organic matter	Physicochemical features of hydrocarbons (at different catagenetic stages)
Marine (littoral and delta)	Kerogen type II, sapropelic dispersed organic matter	≤ 4% paraffin and sulfur ≥0.4—0.5%
lacustrine	Kerogen type I, III, humus-sapropelic organic matter	≤ 4% paraffin and sulfur <0.4%
Continental (fluvial-marsh facies)	Kerogen type III, humic organic matter	≥5—6% paraffin and <0.3% sulfur, large gas formation

В основном нефтегенное органическое вещество в виде донных илов накапливается на озерной профундали, где снижена скорость обломочного осадконакопления, отсутствуют волновые движения и замедлены процессы окисления органических илов. Оптимальным для формирования богатых нефтематеринских пород (с высоким валовым содержанием органического углерода) служит сочетание следующих условий: высокая биологическая продуктивность, низкая скорость деструкции ранее отложенного органического вещества и небольшое поступление терригенного материала, разбавляющего органогенные осадки [8; 13]. Для достижения оптимального сочетания данных условий, озеро должно обладать обширной, хорошо аэрированной литоралью и большой фотической зоной для обеспечения высокой первичной продукции фитопланктона; иметь интенсивное поступление биогенных элементов, необходимых для роста фитопланктона; быть стратифицировано для создания аноксических условий в зоне гипolimниона, необходимых для сохранения органического вещества; иметь низкий уровень терригенной и хемогенной седиментации.

Условия озерного осадконакопления влияют в первую очередь на состав нефтематеринских пород и геохимические особенности продуктов их катагенеза — углеводородных флюидов. Основными параметрами материнских пород, влияющими на качество нефти, являются: валовое содержание органики, водородный индекс, содержание серы.

Для выделения специфических особенностей нефтегазоматеринских пород озерного происхождения, прежде всего, необходимо провести их сравнение с другими наиболее распространенными генетическими типами материнских пород — морскими и аллювиально-болотными (таблица).

Проведенное в таблице сопоставление показывает, что отличительной особенностью органического вещества озерного генезиса служит относительно высокое содержание планктоногенного (сапропелевого) вещества I типа, способного продуцировать качественные углеводороды с высоким содержанием водорода. При этом озерное сапропелевое вещество отличается от типично морского (II тип) большей долей фитопланктонной по сравнению с бентосной составляющей, что обуславливает преобладание в составе углеводородов *n*-алканов, низкое содержание ароматических соединений, большой индекс *H/C*.

По физико-химическим параметрам для нефтей озерного генезиса, как и для «морских» характерна относительно низкая парафинистость, но от последних их отличает преимущественно низкое содержание серы, за исключением относительно редких органических фаций, связанных с неморскими сульфатными эвапоритами.

На основании многочисленных эмпирических наблюдений разновозрастных озерных формаций от кембрия до голоцена, было выделено три наиболее распространенных фациальных ассоциации с характерным комплексом нефте- и газопродуцирующей органики (геохимическими фациями), соответствующих трем гидрологическим типам озерных бассейнов [8; 10; 11]. Рассматриваемая модель американских геологов-нефтяников подчеркивает, что в контроле состава углеводородных продуктов решающее значение имеет не столько региональные палеоклиматические условия, сколько гидрологического статус бассейна осад-

конакопления, зависящий от местных топографических и гидрогеологических условий, во многом определяемых тектоническим фактором. Согласно данной модели, можно выделить три геохимических фации органической компоненты материнских пород: сапропелево-гумусовую, сапропелевую, сапропелевую гиперсоленую.

Каждая ассоциация фаций имеют характерное соотношение водорослевой и терригенной органики I и III типов, определенный нефтегенерирующий потенциал, термические режим и сроки созревания нефти, соотношение жидкой и газообразной компонент УВ.

Основные характеристики гидрологических типов озерных бассейнов. Согласно упомянутой модели, разработанной для типизации нефтематеринских пород озерного генезиса, озерные бассейны бывают следующих типов.

Переполненные (гидрологически открытые) бассейны. Это пресноводные, хорошо аэрированные озера гумидных областей, в которых скорость поступления терригенных осадков с водосбора превышает аккомодационное пространство котловины, доступное для размещения осадков. Типовой разрез осадочных комплексов такого типа связан с циклами проградации речных дельт на озера и представлен озерно-аллювиальными фациями, включающими известковые аргиллиты, алевролиты, переходящие вверх по разрезу в дельтовые и аллювиальные песчаники с включениями углей. Интенсивный речной снос терригенного материала и наземного гумусового ОВ в озера обуславливает низкое валовое содержание органического углерода в битуминозных аргиллитах ($C_{орг}$ — до в пределах 0,5—7%) и заметную примесь газогенного керагена III, аналогичного по составу углистым сланцам.

Из материнских пород озерно-аллювиального генезиса генерируются не только нефть, но и заметное количество газа и газового конденсата. Водородный индекс пород от низкого до умеренного — 50—600 мг НС/г $C_{орг}$. Нефть парафинистая с большим содержанием высокомолекулярных n-алканов (парафинов более 20%), по плотности — от средних до легких значений, с низким содержанием серы. Парафинистые разновидности нефти, связанные с аллювиально-озерными породами, характерны для бассейна центральной части Суматры, севера Китая, центральных африканских рифтовых бассейнов и др.

Сбалансированные бассейны. Представляют собой солоноватоводные, щелочные, часто стратифицированные озера с подвижной береговой линией и непостоянным стоком, в которых скорость поступления терригенных осадков с водосбора приблизительно соответствует аккомодационному пространству котловины. Флуктуации уровня озер с кратковременными проградациями дельт на акватории определяет широкое развитие в их осадочных комплексах фаций профундали, представленных обогащенными водорослевой органикой (планктонной и бентосной) тонкослоистыми аргиллитами, известняками и доломитами. В составе органической компоненты осадков преобладает автохтонный водорослевый материал (I тип), а поступление наземной органики носит эпизодический характер. Основные нефтематеринские породы — слоистые аргиллиты, в наибольшей степени обогащенные органикой, накапливаются на аноксических профундалях. Валовое содержание органики в материнских породах сбалансированных бассейнов

нов, как правило, высокое ($C_{\text{орг}}$ до в пределах 20—27%) из-за низкого терригенного разбавления. Водородный индекс также высокий: 500—800 мг/г НС/г $C_{\text{орг}}$ в среднем, иногда до 1000. Нефть среднепарафинистая (парафинов 5—25%), по плотности — от тяжелой до легкой, с низким содержанием серы.

Бессточные (гидрологически закрытые) эвапоритовые бассейны. Представляя собой соленые постоянные или эфемерные (плайевые) озера, занимающие бессточные ванны, в которых объем размещения осадков превышает скорость их поступления. Наиболее обогащенные органикой сублиторальные субфации накапливаются на более глубоководных (трансгрессивных) стадиях развития озер и представлены битуминозными аргиллитами, сопряженными в разрезах по латерали с эвапоритовым, карбонатными и обломочными осадками, являющимися коллекторами для УВ при последующих катогенетических преобразованиях лимногенных комплексов. Озерные осадки, как правило, переслаиваются в разрезах с эоловыми и пролювиально-делювиальными отложениями. Основной источник ОВ — не только эукариотические продуценты (водоросли), преобладающие в других типах озерных фаций, но и прокариотические организмы (бактерии, синезеленые водоросли), более толерантные к экстремально высокой солености палеоозер.

Нефтегенерирующий потенциал материнских пород эвапоритовых бассейнов переменный (от низкого до высокого), поскольку, хотя их продуктивность достаточно высока и терригенное разбавление минимально, но способность к консервации органики в таких озерах низкая из-за периодического высыхания и окисления донных осадков. Для гиперсоленых озерных фаций характерны керогены типа I-S, отличающиеся высоким содержанием (до 12%) органической серы и низкой температурой генерации нефти за счет присутствия в составе УВ слабых S—C связей, обеспечивающей образование нефти на более ранних стадиях катагенеза. Образование сераорганических соединений происходит, по всей видимости, биогеохимическим путем на стадии диагенеза при взаимодействии сульфатных растворов с сапропелевым веществом.

В целом для материнских пород, связанных с эвапоритовыми озерами характерна несколько более низкий, чем для сбалансированных бассейнов уровень $C_{\text{орг}}$ (до 20%), водородный индекс — от умеренного до высокого: 650—1150 мг/г НС/г, газовые компоненты УВ незначительны. В составе нефти таких бассейнов отмечается относительно низкое содержание парафинов (ниже пределов 5—10%), большая доля асфальтеновых и ароматические соединений, что обуславливает их повышенную плотность (от высокой до средней). Так же для таких нефтей типично высокое содержание серы (до 12%). Сернистые тяжелые нефти широко распространены в кайнозойских лимногенных бассейнах Китая (бассейн Бохай, Кайдам и др.) и тесно связаны с месторождениями гипса и других эвапоритов.

Таким образом, наиболее богатые материнские породы (черные сланцы) озерного генезиса с содержанием органического углерода выше 20% накапливаются в крупных, относительно глубоководных гидрологически сбалансированных (солончатых) бассейнах. Современными аналогами таких водоемов являются тектонические озера тропической зоны, такие как Африканские рифтовые озера [12], обладающие высокой продуктивностью фитопланктона. В этих бассейнах в

наибольшей степени достигаются условиях для длительного накопления и сохранения больших объемов сапропелевой органики с формированием мощных и протяженных нефтепродуктивных толщ.

Приведенные данные позволяют рассматривать лимногенный класс месторождений УВ в качестве отдельной, но весьма неоднородной, генетической группы, отличающейся по комплексу геологических, геохимических и геоэкологических признаков.

Распределение в осадочных бассейнах и геологические особенности месторождений

Месторождения нефти и газа озерного генезиса неравномерно распределены в осадочных бассейнах континентов, однако, в той или иной степени нефтегенное озерное вещество присутствует (в сочетании с морским и аллювиально-дельтовым) во всех трех классах нефтегазоносных бассейнов — платформенных, орогенных и геосинклинальных.

Особенности формирования залежей озерных УВ в наиболее типичных геодинамических обстановках. В пределах платформ отмечается связь нефтепродуктивных озерных комплексов с крупными рифтогенными структурами глубинного заложения, присутствующих, как во внутренних, так и краевых частях платформ. В бассейнах континентальных рифтов основными нефтематринскими отложениями служат черные аргиллиты, накапливающиеся на профундали глубоких стратифицированных озер сбалансированного типа. Мощные толщи битуминозных осадков внутренних зон рифтовых впадин, сопряженные с краевыми аллювиально-дельтовыми и морскими карбонатными отложениями, обладающими хорошими коллекторскими свойствами, определяют перспективность лимногенных комплексов платформенных рифтов в качестве месторождений УВ (рисунок).

Характерной особенностью распределения нефтематеринских озерных формаций в рифтогенных осадочных бассейнах является их приуроченность к нижним (синрифтовым) этажам, перекрытым морскими и дельтовыми осадками (в том числе также нефтегенными) — пелагическими глинами и шельфово-склоновыми турбидитами. Это определяет широкие возможности формирования месторождений УВ озерного генезиса в верхних карбонатно-терригенных комплексах, вследствие их вертикальной миграции, со смешением с углеводородами других материнских источников.

Наличие в лимногенных комплексах углеводородных коллекторов и благоприятные катагенетические условия для термического созревания УВ (высокий геотермический градиент), делает сами лимногенные структуры перспективными образованиями для дальнейшего наращивания углеводородных ресурсов платформ, несмотря на относительную труднодоступность для разработки и меньшие объемы резервуаров по сравнению с морскими бассейнами.

Широко распространены крупные месторождения УВ озерного генезиса на пассивных континентальных окраинах атлантического типа, например, на шельфе и континентальном склоне Южной Атлантики. Озерные нефти этого региона представлены крупными месторождениями в бассейнах Северного и Южного

Конго, а бассейне Кампус и некоторых наземных бассейнах Юго-Восточной Бразилии.

Наиболее высококачественные нефтематеринские породы ($C_{\text{орг}} = 1\text{--}5\%$ и более) западной африканской окраины вмещает нижнемеловая формация Букомази [1], характеризующаяся значительными размерами и высокими мощностями (до 2,5 км) продуктивных толщ, сложенных обогащенными органическим веществом аргиллитами и мергелями, образовавшимися в обстановке глубокого, стратифицированного палеозера. Формация служит источником нефтяных скоплений, сконцентрированных в песчаных и карбонатных резервуарах синрифтовых комплексов, а также мигрировавших в вышележащие морские резервуары (верхний мел — кайнозой) через солевые окна.

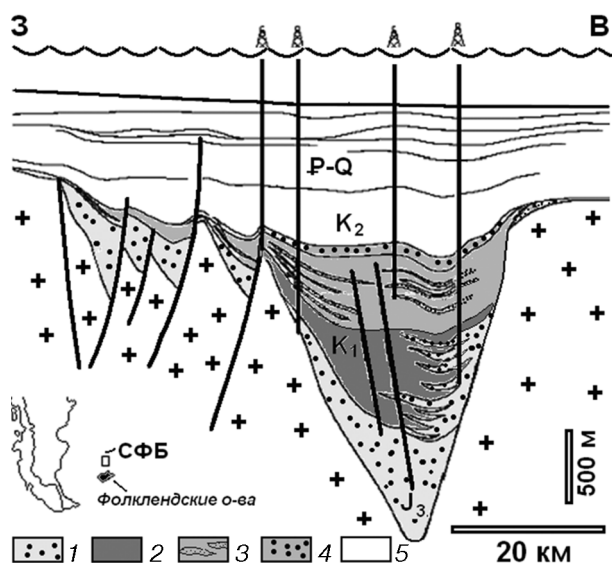


Рисунок. Схема залегания нефтематеринских (2, 3) и коллекторских (1, 4) пород осадочного выполнения внутриплатформенного рифта на примере Северо-Фолклендского нефтегазоносного бассейна: 1 — аллювиальные и озерно-аллювиальные песчаники; 2 — озерные битуминозные аргиллиты; 3 — толща озерных битуминозных алевролитов с прослоями дельтовых песчаников; 4 — аллювиальные песчаники; 5 — осадочные чехлы из мелководно-морских и дельтовых отложений

(**Figure.** The pattern of occurrence of sour (2, 3) and reservoir (1, 4) rocks sedimentary performance of the intra-platform rift on the example of the North-Falkland oil and gas basin: 1 — fluvial and lacustrine-fluvial sandstones; 2 — lacustrine mudstone; 3 — lacustrine siltstones with interlayers of delta sandstones; 4 — fluvial sandstones; 5 — sedimentary cover from shallow-marine and delta deposits)

Глубоководно-озерные черные карбонатные аргиллиты нижнего мела, обогащенные сапропелевым веществом, являются также основным источником высококачественных жидких УВ бассейнов Бразильской окраины [1]. Возрастным аналогом формации Букомази здесь служит неокомская формация Лагу Фиа ($C_{\text{орг}} = 1\text{--}5\%$ и более, водородный индекс до 550 мг НС/г $C_{\text{орг}}$), содержащая превосходные жидкие углеводороды, мигрировавшие через зоны трещиноватости в ловушки морского осадочного комплекса с образованием серии нефтяных месторождений-гигантов.

Незначительную роль играют озерные обстановки в формировании нефтегазонности бассейнов наплитных впадин и переходных зон, возникающих над рифтовыми структурами на стадии формирования осадочного чехла платформ.

В предгорных впадинах (форландых) альпийских горных сооружений озерные обстановки подавляются высокими скоростями сноса осадков с растущего орогена. Поэтому здесь преобладают мелководные пресноводные озера (гидрологически открытые бассейны), окруженные обширными аллювиально-пролювиальными равнинами. В таких обстановках накапливаются преимущественно угленосные и газогенерирующие аллювиально-озерные комплексы, обогащенные наземным органическим веществом. Относительно мощные озерные толщи, обогащенные сапропелевым веществом сбалансированных или эвапоритовых озер, в форландовых впадинах могут формироваться при сниженном уровне поставки терригенного материала, возможным в условиях аридного и семиаридного климата. Например, в форланде Скалистых гор (Запад США) в раннем эоцене сформировалась нефтеносная озерная формация Грин-Ривер, содержащая крупнейшее в мире месторождение неморских горючих сланцев и троны. Сопряженность нефтегенных сланцев с залежами содовых эвапоритов свидетельствует о преимущественно засушливых палеоклиматических условиях осадконакопления.

В межгорных впадинах складчатых поясов широко распространены небольшие, рассеянные месторождения УВ озерного и аллювиально-озерного генезиса, связанные с нефтематринскими толщами мощностью в среднем 0,5—2,5 км и до пределов 4—5 км в отдельных случаях. Коллекторы в таких впадинах приурочены к обломочным фациям аллювиального или дельтового генезиса. Особенно характерны такие бассейны для эпиплатформенных глыбовых орогенов. Нефтегазовые бассейны данного типа наряду с рифтогенными платформенными бассейнами широко распространены в западном и северо-восточном Китае, а также Монголии, где продуктивные толщи имеют мезо-кайнозойский возраст и связаны с многочисленными впадинами, заложенными на герцинском фундаменте. Так, с продуктами преобразования неоконских сапропелевых илов в палеоозерах межгорных впадин связаны небольшие месторождения нефти и горючих сланцев и нефтепроявления в центре, на востоке и юге Монголии. Низкая степень термической зрелости материнских пород и небольшие объемы продуктивных толщ, определяют низкое промышленное значение монгольских месторождений [3].

Наиболее слабо развиты озерные комплексы в структуре осадочных бассейнов геосинклинальных поясов, поскольку здесь континентальные обстановки осадконакопления довольно кратковременны, предшествуя или завершая морскую седиментацию.

Геоэкологические аспекты, связанные с добычей углеводородов озерного генезиса

При рассмотрении геоэкологических проблем добычи УВ озерного генезиса нужно отметить, что в основном они схожи с проблемами, возникающими при разведке и эксплуатации месторождениями УВ разного генезиса. Можно выделить следующие общие проблемы нефтегазовой отрасли.

1. Нарушение почвенного и растительного, поверхностного стока, деградация мерзлых грунтов в период разведки и освоения месторождений.

2. Отрицательные вертикальные движения земной поверхности в результате извлечения из недр нефти, газа и подземных вод, поддерживающих пластовое давление.

3. Загрязнение атмосферы при добыче УВ, во время аварий, природным газом, продуктами испарения нефти и также продуктами сгорания попутного нефтяного газа.

4. Химическое загрязнение почв и гидросферы в период разведки месторождений (при бурении скважин), эксплуатации и транспортировки.

Вместе с тем, особенности состава, физико-химических свойств, условий залегания и размещения залежей УВ озерного генезиса, показанные ранее, позволяет выделить ряд специальных геоэкологических проблем, характерных для месторождений данного генетического типа. Они связаны не только с особенностями добычи, но и условиями транспортировки и переработкой УВ лимногенного происхождения.

Как было показано, для озерной нефти характерна средняя парафинистость, низкое содержание высокомолекулярных соединений, как правило, низкое содержание серы. Это определяет хорошие промышленные качества и меньшую химическую агрессивность жидких УВ озерного генезиса по сравнению с углеводородами морского генезиса. Таким образом, в среднем, добыча УВ озерного генезиса несет меньшую геохимическую нагрузку на окружающую среду за счет более «облагороженного» их состава. Так, относительно низкое содержание парафинов в озерной нефти благоприятно для ее добычи и транспортировки, а малая сернистость по сравнению с морскими нефтями снижает ее агрессивность при транспортировке и количество вредных выбросов при переработке. По другим свойствам, таким как плотности и содержания смол, асфальтенов, газосодержащие, различия связаны не столько с генезисом нефтематеринского вещества, сколько со степенью его катагенетического преобразования, и сильно различаются в зависимости от месторождения.

Вместе с тем геологические условия лимногенных месторождений УВ, связанные с особенностями залегания лимногенных материнских пород (высокая глубина залегания, многоярусность промышленных скоплений, их сильная латеральная контрастность в сочетании с переменной мощностью), технически усложняет их разработку и эксплуатацию. Особенно ярко труднодоступность лимногенных месторождений проявляется в рифтогенных осадочных бассейнов внутри и на окраинах платформ. В последнем случае их разведку и разработку необходимо проводить с акватории шельфовых морей, что сопряжено с повышенными рисками разлива углеводородного сырья и загрязнения окружающей среды.

Наряду с геоэкологическими аспектами добычи традиционных углеводородных ресурсов, необходимо отдельно рассмотреть спектр проблем, связанных с извлечением сланцевой нефти и газа, значительная часть месторождений которых имеет озерное происхождение. В отличие от месторождений традиционных углеводородов, скопления нефтяных сланцев лимногенных бассейнов по сравнению

с морскими бассейнами, имеют как правило более высокую промышленную ценность за счет большой мощности залежей и высокого содержания битуминозного компонента.

Крупнейшим месторождением нефтеносных сланцев в мире является лимногенная формация Грин-Ривер. В подземном сланцевом бассейне площадью около 15 тыс. км², содержится около 800 млрд баррелей извлекаемых запасов нефти, что втрое больше запасов Саудовской Аравии. Сопоставимы по запасам с формацией Грин-Ривер верхнепермские озерные сланцы северо-запада Китая. В Бразилии крупнейшее месторождение нефтяных сланцев озерного генезиса — бассейн долины Парайба. Многочисленные небольшие сланцевые бассейны озерно-аллювиального генезиса, часто связанные с угленосными толщами, не имеют высокого промышленного значения из-за преобладания небольших и рассеянных залежей.

Поскольку в незрелых нефтяных сланцах, в отличие от проницаемых нефтяных пластов, нефть не может свободно перемещаться в слоях, для ее извлечения применяются различные технологии, такие как прогревание пород и использование направленных взрывов. Это приводит к значительному удорожанию процесса добычи и вызывает ряд геоэкологических проблем. В процессе извлечения нефти требуется бурение все новых скважин, так как скважина отдает только тот объем, на который удалось подействовать проведенными мероприятиями, оставшая нефть останется нетронутой, пока не будет пробурена следующая скважина и не проведен все тот же комплекс процедур. Разработка сланцевых месторождений, таким образом, ведет к ряду геоэкологических проблем, связанных с высоким расходом воды, высокой энергоемкостью процесса извлечения горючих сланцев, выбросами в атмосферу парниковых газов.

ВЫВОДЫ

1. Отличительная особенность нефтегенного органического вещества озерного генезиса заключается в его высокой геохимической гетерогенности по сравнению с морским и аллювиально-болотными органическими фациями в сочетании с высоким содержанием планктоногенного (сапропелевого) вещества I типа, способного продуцировать качественные углеводороды с высоким содержанием водорода.

2. В озерных бассейнах накапливаются преимущественно нефтематеринские отложения, реже газоматеринские, причем последние формируются в гидрологически открытых, пресноводных водоемах в сочетании с аллювиально-болотными угленосными фациями.

3. Лимногенные углеводороды составляют три геохимических группы, соответствующие трем типам озерных бассейнов — гидрологически открытым (сточным), закрытым (бессточным) и сбалансированным. Выделенные группы отличаются составом керогенов, соотношением сапропелевой и гумусовой компоненты органического вещества, индексом Н/С материнских пород, а также физико-химическими свойствами генерируемых УВ, такими как плотность, содержание парафинов и серы.

4. Высокопарафинистые нефти озерно-аллювиального генезиса в сравнении с собственно «озерными» углеводородами зачастую имеют наиболее качественные физико-химические свойства — среднюю и низкую плотность, пониженное содержание высокомолекулярной компоненты (асфальтенов), низкую сернистость, однако они, как правило, не образуют крупных месторождений.

5. В целом нефтематеринские породы и резервуары озерного происхождения играют значительную роль в формировании месторождений УВ платформенных рифтогенных бассейнов, нижних (синрифтовых) комплексов пассивных окраин, межгорных и предгорных впадин. Значительно менее распространены они в бассейнах наплитных впадин и геосинклинальных поясов.

6. Нефти озерного генезиса в среднем по сравнению с углеводородами морского генезиса имеют более экологичные физико-химические свойства (за исключением тяжелых нефтей эвапоритовых озерных бассейнов) — меньшую сернистость и большую парафинистость, однако их месторождения отличаются более сложными геологическими условиями добычи, сопряженные с рядом геоэкологических проблем.

7. Широкий спектр геоэкологических проблем (истощение водных ресурсов, загрязнение атмосферы парниковыми газами и др.) также связан с освоением месторождений термически незрелой сланцевой нефти, наиболее ценные из которых имеют озерное происхождение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Обстановки осадконакопления и фации / под ред. Х. Рединга. М.: Мир, 1990. Т. 1. 351 с.
- [2] Рассказов А.А., Васильева Е.Ю., Горбатов Е.С., Георгиевский А.Ф. Лимногеология и условия озерного осадкообразования: учеб. пособие, М.: РУДН, 2012. 151 с.
- [3] Рассказов А.А., Горбатов Е.С., Васильева Е.Ю. Геодинамические условия формирования приразломных озерных котловин Южного и Среднего Урала // Геофизические исследования. 2013. № 2. С. 71–83.
- [4] Cohen A.S. Paleolimnology: the history and evolution of lake systems. Oxford: 2003. 500 p.
- [5] Bohacs K.M., Carroll A.R., Neal J.E. Lessons from large lakesystems — thresholds, nonlinearity, and strange attractors / Geological Society of America Special Paper 370, 2003. Pp. 75–90.
- [6] Рассказов А.А., Скобелев С.Ф., Стукалова И.Е. Эволюция процессов континентального литогенеза в лимногенных комплексах Урала // Седиментогенез и литогенез осадочных образований. В.П. Алексеев (отв. ред.). Екатеринбург: УГГГА, 1996. С. 104–105.
- [7] Bohacs K.M., Carroll A.R., Neal J.E., Mankiewicz P.J. Lake-Basin Type, Source Potential, and Hydrocarbon Character: an Integrated Sequence Stratigraphic–Geochemical Framework / Gierlowski-Kordesch E.H., Kelts K.R. Lake basins through space and time / AAPG, 2000. Pp. 3–34.
- [8] Kelts K. Environments of deposition of lacustrine petroleum source rocks: an introduction // Lacustrine petroleum source rocks // Lacustrine Petroleum Source Rocks A.J. Fleet, K. Kelts, M.L. Talbot (Ed.) Oxford: 1988. Pp. 3–27.
- [9] Скоробогатов В.А. Термобарогеохимическая эволюция скоплений УВ(на примере молодых плит СССР) // Геология нефти и газа. 1991. № 8. С. 23–29.
- [10] Carroll A.R., Bohacs K.M. Stratigraphic classification of ancient lakes: Balancing tectonic and climatic controls. *Geology* 27, 1999. Pp. 99–102.
- [11] Carroll A.R., Bohacs K.M. Lake-type controls on petroleum source rock potential in nonmarine basins // AAPG Bulletin, v. 85, no. 6 (June 2001). Pp. 1033–1053.

- [12] Полякова И.Д. Нефтегазаносные бассейны Южной Атлантики // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9. № 2. С. 1—22.
- [13] Лимнология и палеолимнология Монголии / отв. ред. Ю.Ю. Дгебуадзе. М., 2014. 412 с.; ил. (Биологические ресурсы и природные условия Монголии: Труды Совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции РАН и АНМ; т. 60.)

© Рассказов А.А., Горбатов Е.С., Васильева Е.Ю., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 22.05.2017

Дата принятия к печати: 28.08.2017

Для цитирования:

Рассказов А.А., Горбатов Е.С., Васильева Е.Ю. Месторождения лимногенных углеводородов и геоэкологические аспекты, связанные с их генезисом // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2017. Т. 25. № 3. С. 366—379. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-366-379

Сведения об авторах:

Рассказов Андрей Андреевич — доктор геолого-минералогических наук. E-mail: rasskazo@yandex.ru

Горбатов Евгений Сергеевич — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. E-mail: e.s.gor@mail.ru

Васильева Екатерина Юрьевна — кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии экологического факультета РУДН. E-mail: ti-gress@yandex.ru

DEPOSITS OF LACUSTRINE HYDROCARBONS AND GEOECOLOGICAL ASPECTS RELATED TO THEIR GENESIS

A.A. Rasskazov¹, E.S. Gorbatov², E.Yu. Vasilieva¹

¹ Ecological Faculty, Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 115093

² Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Ac.Sc. (IPE RAS)
Bolshaya Gruzinskaya str., 10/1, Moscow, Russia, 123242

It is shown that hydrocarbon deposits associated with fossil lacustrine complexes represent a separate genetic group of deposits that differ in terms of a complex of geological, geochemical and geoeological features. The mechanisms of accumulation of sour rocks in lacustrine basins of different hydrological type are presented. It was established that the lacustrine genesis oil has a better chemical composition compared to liquid hydrocarbons of marine genesis. However, their extraction requires additional economic and environmental costs due to complex geological conditions

Key words: Oil and gas fields, rift lakes, Lacustrine lithogenesis, Sedimentary basins, geoeological problems

REFERENCES

- [1] Sedimentary environmental and facies / Ed. H. Reading. Moscow: Mir, 1990. T. 1. 351 p.
- [2] Rasskazov A.A., Vasilyeva E.Yu., Gorbatov E.S., Georgievsky A.F. Limnogeology and conditions of lacustrine Sedimentation: A Training manual. Moscow: RUDN, 2012. 151 p.
- [3] Rasskazov A.A., Gorbatov E.S., Vasilieva E.Yu. Geodynamical conditions formation of fault lacustrine kettles in the South and Middle Urals // *Geophysical Research*. 2013. № 2. Pp. 71–83.
- [4] Cohen A.S. Paleolimnology: the history and evolution of lake systems. Oxford: 2003. 500 p.
- [5] Bohacs K.M., Carroll A.R., Neal J.E. Lessons from large lakesystems — thresholds, nonlinearity, and strange attractors / Geological Society of America Special Paper 370, 2003. Pp. 75–90.
- [6] Rasskazov A.A., Skobelev S.F., Stukalova I.E. Evolution of processes of continental lithogenesis in limnogenic complexes of the Urals // *Sedimentogenesis and lithogenesis of sedimentary formations*. Ed. V.P. Alekseev. Ekaterinburg: UGGGA, 1996. Pp. 104–105.
- [7] Bohacs K.M., Carroll A.R., Neal J.E., Mankiewicz P.J. Lake-Basin Type, Source Potential, and Hydrocarbon Character: an Integrated Sequence Stratigraphic–Geochemical Framework / Gierlowski-Kordesch E.H., Kelts K.R. Lake basins through space and time / AAPG, 2000. Pp. 3–34.
- [8] Kelts K. Environments of deposition of lacustrine petroleum source rocks: an introduction // *Lacustrine petroleum source rocks* // *Lacustrine Petroleum Source Rocks* A.J. Fleet, K. Kelts, M.L. Talbot (Ed.) Oxford: 1988. Pp. 3–27.
- [9] Skorobogatov V.A. Thermobarogeochemical evolution of hydrocarbon accumulations (using the example of young plates of USSR) // *Geology of oil and gas*. 1991. № 8. Pp. 23–29.
- [10] Carroll A.R., Bohacs K.M. Stratigraphic classification of ancient lakes: Balancing tectonic and climatic controls. *Geology* 27, 1999. Pp. 99–102.
- [11] Carroll A.R., Bohacs K.M. Lake-type controls on petroleum source rock potential in nonmarine basins // *AAPG Bulletin*. V. 85. No. 6 (June 2001). Pp. 1033–1053.
- [12] Polyakova I.D. Oil and gas basins of the South Atlantic // *Oil and gas geology. Theory and practice*. 2014. Vol. 9. No. 2. Pp. 1–2.
- [13] *Limnology and Paleolimnology of Mongolia* / Ed. Yu.Yu. Dgebuadze. Moscow, 2014. 412 p.

Article history:

Received: 22.05.2017

Revised: 28.08.2017

For citation:

Rasskazov A.A., Gorbatov E.S., Vasilieva E.U. (2017) Deposits of lacustrine hydrocarbons and geocological aspects related to their genesis. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (3), 366–379. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-366-379

Bio Note:

Rasskazov Andrey Andreevich — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences. E-mail: rasskazo@yandex.ru

Gorbatov Evgeny Sergeevich — candidate of geological and mineralogical sciences, senior researcher of the O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth. of the Russian Academy of Sciences. E-mail: e.s.gor@mail.ru

Vasilyeva Ekaterina Yurievna — Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Geocology of the Environmental Faculty of the Peoples' Friendship University of Russia. E-mail: ti-gress@yandex.ru