

ТЕКТОНИКА, ФОРМАЦИИ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ МАТЕРИКОВЫХ ОКРАИН

А. Н. Дмитриевский, А. Забанбарк
(ИПНГ РАН)

Влияние тектонического режима на формационный состав отложений, темп осадконакопления, условия аккумуляции и консервации нефтяных и газообразных углеводородов в осадочных толщах в зонах перехода от континента к океану, в областях с пассивными и активными материковыми окраинами очень велико. Одни зоны представляют собой край континента, часть которого погружена под уровень вод и разделяется на шельф, континентальный склон и его подножие (глубоководный желоб). Другие, помимо края континента, включают островную вулканическую дугу или целую систему дуг (активных и остаточных) и малые океанические впадины (окаинные моря). От океана они отделены активной вулканической дугой и глубоководным желобом. Первые принято называть континентальными (материковыми) окраинами, выделяя среди них пассивные и активные; вторые можно определить как островодужные или сложнопостроенные зоны перехода от континента к океану.

Окраины континентов в Атлантическом и Индийском океанах относятся в основном к пассивным, тогда как Тихий океан окружен с востока активными континентальными окраинами, а на севере и западе — островодужными переходными зонами, характеризующимися в целом активным тектоническим режимом: высокой сейсмичностью, наземным и подводным вулканизмом. Однако некоторые элементы (собственно край континента, древние островные дуги, называемые остаточными, а также обрамляемые ими малые океанические впадины) в течение длительных промежутков времени (миллион лет и более) развиваются как пассивные. Разнообразная же магматическая и вулканическая деятельность интенсивно проявляется в пределах фронтальной вулканической дуги и находящейся за ней междугуовой океанической впадины (например, Западно-Марианской). Продукты вулканизма играют здесь важную роль в процессах осадконакопления.

Край континента, помимо резко выраженных геоморфологических признаков, характеризуется значительным увеличением толщины осадочного чехла, которая на отдельных участках составляет 14...15 км, достигая иногда 20...21 км. Лишь некоторые из молодых в геологическом отношении пассивных окраин и активные окраины в областях скупивания и аккреции континентальной коры (тихоокеанская окраина Южной Америки) лишены мощной линзы метаморфизованных осадочных пород.

Формационный облик отложений в зонах перехода от континента к океану, а также условия аккумуляции и консервации скоплений нефтяных и газообразных углеводородов в осадочных толщах различны. К нефтегазоносным комплексам в зонах перехода континент — океан, кроме традиционных для континентального сектора литосферы терригенных дельтовых, аллювиальных и мелководно-морских образований, относятся также осадки необычного для континентов генезиса: оползневые серии турбидитов и другие гравититы. Широкое развитие имеют карбонатные отложения рифовой и нерифовой природы, а также осадки кремнистого состава.

В зонах перехода с пассивным режимом последовательность формаций в осадочных разрезах более выдержана: в нижней части разреза — терригенные красноцветные молассоидного облика с пачками лав, вулканитов и солей соленосные формации и сменяющие их карбонатные, в том числе рифовые толщи [6], в верхней части — терригенные морские и дельтовые отложения, комплексы наноиллов и мергелей, магнезиальные глины и (кремнисто)-карбонатно-терригенные образования различного генезиса. Осадки здесь изменяются во времени как по составу, так и в генетическом отношении — появляются турбидиты, контуриты, приливно-отливные образования и др.

Иное строение имеют осадочные разрезы на активных окраинах андийского и невадийского типов, где в основании мезозоя развиты морские карбонатные и кремнисто-терригенные комплексы, включающие вулканогенные образования (или замещающие по простиранию). Их постепенно вытесняют чисто терригенные и вулканотерригенные серии осадков морского, дельтового и подводно-дельтового происхождения, вслед за которыми в полосе складчатого пояса Анд и Кордильер распространены в кайнозойе красноцветные молассовые, угленосные и соленосные толщи или вулканотерригенные красноцветы и известняково-диатомовые пресноводные осадки. Таким образом, если исключить самые внешние по отношению к континентам осадочные бассейны андийских и невадийских окраин, то последовательность седиментологических событий здесь во многом обратная по сравнению с пассивными окраинами [5]. На активных окраинах большинство мезозойских комплексов к настоящему времени сильно дислоцировано, метаморфизовано и не представляет интереса в отношении нефтегазоносности.

Во внешних бассейнах переходных зон на протяжении всего кайнозоя преобладала аккумуляция морских терригенных и кремнистых осадков: подводно-склонового и турбидитового генезиса в бассейнах аккреционного орогена невадийских окраин, прибрежно-морских и авандельтовых в шельфовых бассейнах андийских окраин.

Наиболее широк набор осадочных образований в островодужных переходных зонах, отличающихся мозаичным строением и разнообразием осадочных бассейнов. Если в преддуговых впадинах преимущественно развиты биогенные (карбонатные или кремнистые) образования с той или иной долей участия вулканогенных компонентов, то в задуговых (междуговых) впадинах, зарождающихся в результате раздвига и последующего спрединга субокеанической коры, накапливаются терригенные глинистые или алевролитоглинистые осадки, сменяющиеся выше серией турбидитов различного состава, а после заполнения ими впадин — дельтовыми, прибрежно-морскими и лагунными комплексами. Полный цикл эволюции подобных бассейнов венчается типичными континентальными красноцветами.

Совершенно иной набор формаций отмечается в задуговых бассейнах, заложившихся в пределах древней континентальной или субконтинентальной коры. Интенсивное прогибание приводит к формированию здесь сначала отдельных грабенов, а затем обширной погруженной зоны, которая в зависимости от ее положения по отношению к уровню моря заполняется или морскими мелководными, или дельтовыми и болотными угленосными осадками. Нередко в истории таких бассейнов выделяется этап, с которым связано образование комплексов рифовых известняков или серий вулканогенных отложений (впадины Южно-Китайского моря, Ментавайский бассейн).

Для осадочных бассейнов собственно континентальной окраины, находящейся в тылу островодужной зоны перехода, характерно широкое распространение озерных, нередко угленосных серий. Они перемежаются с морскими прибрежно-шельфовыми терригенными или карбонатными породами и нередко содержат горизонты лав и пачки вулканитов, которые отвечают эпохам тектонической активизации (бассейн Бохай).

Таким образом, формационный состав осадочного чехла бассейнов определяется их структурно-тектоническим положением на той или иной континентальной окраине и особенностями тектонической эволюции данного участка переходной зоны. Эти же критерии обуславливают совокупность генетических типов отложений и темп их аккумуляции.

Нефтегазоносность осадочных комплексов определяется, прежде всего, темпом осадконакопления и продолжительностью его во времени. Коллекторами становятся любые образования с достаточно высокой емкостной способностью вплоть до мелкозернистых диатомитов и трещиноватых глин. Благодаря широкому размаху разведочного и поискового бу-

рения в осадочных бассейнах открыты многочисленные залежи нефти и газа, главным образом в пределах прибрежной равнины, шельфа и склона. Как показал анализ геофизического материала и образцов керн, они размещены неравномерно по разрезу и концентрируются в основном в осадочных комплексах определенного генезиса и состава.

Выделены лишь самые общие группы осадков: континентальные, дельтовые, мелководно-морские и глубоководные для терригенных образований; рифовые известняки, известняки иного происхождения и доломиты для карбонатных разностей; кремнистые отложения, туфы, туфопесчаники и кварциты. Дать более подробное деление нефтегазосодержащих отложений в настоящее время возможно лишь по отдельным месторождениям или бассейнам, а не по континентальным окраинам в целом. Под континентальными отложениями понимаются все субаэральные и субаквальные терригенные образования, встречающиеся на суше в пределах континентальных окраин: пролювиальные, аллювиальные, озерные, болотные, золовые, кор выветривания и др. Отложения дельт и авандельт, учитывая их большое распространение и ту роль, которую они играют как коллекторы нефти и газа, рассматриваются отдельно.

К мелководно-морским образованиям отнесены лагунные, прибрежные, пляжевые и шельфовые терригенные отложения. Под глубоководными понимаются отложения подводных склонов, подножий впадин и желобов, которые представлены в основном турбидитами, гемипелагическими обвальными оползневыми осадками и потоками обломков.

Среди карбонатных и кремнистых отложений, вмещающих залежи нефти и газа, не удается выделить группы, соответствующие мелководно-морским, пресноводным и глубоководным фациям. В практике нефтегазогеологических исследований утвердился повышенный интерес к рифовым известнякам, присутствие которых обычно отмечается при рассмотрении конкретных бассейнов. Другие разновидности карбонатов описываются как известняки, без уточнения деталей. Именно поэтому все разновидности карбонатных нефтяных коллекторов пришлось объединить в одну группу.

Извлекаемые запасы углеводородных (УВ) ресурсов в нефтегазоносных бассейнах континентальных окраин на начало 2002 г. составили 112,4 млрд т нефти и 57 трлн м³ газа. Нефтегазовые скопления (97,6 %) сосредоточены, по существу, в двух литологических разностях пород: терригенных и карбонатных, только 2,4 % от общих извлекаемых запасов углеводородов находятся в кремнистых отложениях, диатомовых глинах, туфах, туфопесчаниках и кварцитах. Количественное соотношение углеводородов в терригенных и карбонатных отложениях примерно одинаковое.

Генетический анализ пород, в которых заключены запасы углеводородов, привел к следующим ре-

зультатам. В терригенных образованиях они наиболее широко распространены в мелководно-морских — 52,3 %, дельтовых — 24,8 %, континентальных (аллювиальных и озерных) — 12,3 % и турбидитах — 10,6 %. Среди карбонатных образований УВ концентрируются в рифовых известняках — 43,1 %, тогда как на другие породы (оолитовые и водорослевые известняки, лагунные известняки и доломиты), характеризующиеся высокой трещиноватостью, приходится 56,9 %.

Ресурсы углеводородов в карбонатных коллекторах сосредоточены в районе Персидского залива — 55,2 млрд т нефти и 30,45 трлн м³ газа [9]. В бассейнах других окраин запасы распределены достаточно равномерно между терригенными и карбонатными комплексами или приурочены к терригенным разностям пород, что особенно характерно для бассейнов переходных зон с активным тектоническим режимом.

На пассивных окраинах спектр нефтегазовместяющих отложений, установленных к настоящему времени, значительно уже по сравнению с активными окраинами переходных зон. Здесь до сих пор не установлены скопления углеводородов в вулканогенных или вулканогенно-осадочных образованиях. Эти отложения практически отсутствуют в разрезах пассивных окраин, встречаясь в основном в подошве осадочного чехла. Ничтожные по запасам залежи жидких и газообразных УВ открыты в Кванза-Камерунском бассейне в кремнистых отложениях, а в бассейне Байя (окраина Бразилии) известно небольшое месторождение нефти в кристаллических породах фундамента (кварциты).

Среди терригенных комплексов, характерных для бассейнов пассивных окраин, наибольшие запасы УВ содержатся в отложениях мелководно-морского генезиса: в шельфовых, пляжевых или баровых песчаниках и алевролитах заключено более 26 млрд т нефти и 8,8 трлн м³ газа. Эти породы служат коллекторами углеводородов практически на всех пассивных континентальных окраинах в большинстве приуроченных к ним нефтегазоносных бассейнов.

Регионально нефтегазоносны и дельтовые отложения. Они не встречены лишь в бассейнах атлантических окраин Бразилии и Канады, в Суэцком заливе и в некоторых бассейнах Средиземного моря [2]. Эти бассейны приурочены к областям несовершенного рифтогенеза или недавней тектонической активизации, где в прошедшее время не было условий для возникновения крупных речных дельт. Исключение составляет район дельты Амазонки, которая сформировалась на выходе к Атлантике крупного авлакогена; здесь, однако, до сих пор не открыты промышленные скопления УВ. Возможно, в связи с проведением глубоководного бурения в последние годы на континентальных склонах этого региона могут быть открыты скопления УВ в турбидитовых отложениях. В целом коллекторы дельтового происхождения вмещают более 10,6 млрд т нефти и почти 7 трлн м³ газа в бассейнах пассивных окраин.

В переходных зонах к континентальным терригенным отложениям приурочено почти 2,3 млрд т нефти и 6 трлн м³ газа. В бассейнах пассивных окраин самые значительные запасы нефти связаны с континентальными песчаниками в бассейне Суэцкого залива, а запасы газа сосредоточены в Североморской впадине. Первый принадлежит к бассейнам рифтового типа — континентального рифта на продолжении молодой, недавно раскрывшейся, впадины Красного моря. Североморская впадина расположена в зоне интенсивного пермско-мезозойского рифтогенеза. Здесь установлена сложная система континентальных рифтов, заполненных отложениями наземного генезиса. Крупные скопления нефти и газа открыты в районе Мексиканского залива, на арктической окраине Аляски и в море Бофорта.

Терригенные глубоководные отложения стали доступными для разведочного бурения в последние 10 лет. Притоки УВ свидетельствуют о наличии гигантских скоплений, преимущественно нефти, в турбидитовых образованиях. Это подтверждается открытиями в глубоководных областях Бразилии, Западной Африки [4], Мексиканского залива и в других регионах мира. Считается, что до 90 % неоткрытых УВ залегают в глубоководных отложениях [8]. В целом коллекторы турбидитового происхождения вмещают около 2,8 млрд т нефти и примерно 1,5 трлн м³ газа.

Крупные бассейны или бассейны с длительной историей развития, например на выходе к океану авлакогенов или континентальных рифтов, содержат залежи в терригенных коллекторах всех четырех типов: континентальных, дельтовых, мелководно-морских и глубоководных.

Среди карбонатных коллекторов на пассивных окраинах материков широкое развитие имеют рифогенные известняки, в которых сосредоточено более 25 млрд т нефти и почти 6 трлн м³ газа. Однако география распространения продуктивных рифовых комплексов довольно ограничена — это несколько бассейнов в полосе распространения древнего океана Тетис и возникших после его закрытия внутренних морей: Персидского и Мексиканского заливов (20,3 и 4,45 млрд т нефти, 3,4 и 2,3 трлн м³ газа, соответственно), а также Валенсийский и Альборанский в западной части Средиземного моря (0,3 млрд т нефти и 0,02 трлн м³ газа). В бассейне Суэцкого залива также доказана продуктивность рифовых известняков, однако связанные с ними запасы довольно скромные — 0,05 млрд т нефти. В осадочных бассейнах собственно континентальных окраин Атлантики и Индийского океана, где широко распространены рифовые массивы мезозойского и кайнозойского возраста, их продуктивность до сих пор остается неясной.

Однако крупные скопления УВ связаны не только с рифогенными известняками. Огромные запасы нефти и газа могут содержать и другие фациальные типы карбонатных отложений. В известняках и до-

ломитах нерифовой природы заключено почти 33,1 млрд т нефти и более 24 трлн м³ газа, причем залежи открыты в большинстве приокеанских бассейнов пассивных окраин (за исключением бассейнов поперечных рифтов и авлакогенов: Мальвинас, Сан-Хорхе, Нигерийский, Голдаварский и др.).

Следует иметь в виду, что не всегда можно отличить известняки чисто рифового происхождения от других форм карбонатов, особенно если они подвергались доломитизации. Поэтому в некоторых случаях вопрос о генезисе продуктивной карбонатной толщи нельзя решить однозначно.

В зонах перехода с активным тектоническим режимом в качестве коллекторов выступают разнообразные породы — от терригенных и карбонатных до кремнистых и вулканогенных. Это является следствием многообразия геологических формаций в этих регионах по сравнению с пассивными окраинами континентов, а также определенного дефицита природных резервуаров, когда образующиеся в большом количестве УВ начинают занимать любые поровые и трещинные пространства вплоть до пород кристаллического фундамента. Даже горизонты и пачки вулканических туфов, в которых обычно преобладают условия окислительной среды, становятся на активных окраинах коллекторами нефти и газа, причем открытые в них залежи характеризуются значительными общими запасами: в туфах почти 0,7 млрд т нефти и 0,22 трлн м³ газа, в туфопесчаниках 0,57 млрд т нефти и 0,31 трлн м³ газа.

Общие ресурсы, открытые к настоящему времени в породах вулканогенного и вулканогенно-осадочного генезиса, составляют 1,27 млрд т нефти и 0,53 трлн м³ газа. Они сосредоточены преимущественно в бассейнах островных вулканических дуг: Преднансейском, Восточного Хонсю, Серамском, моря Банда, Минданао, а также в некоторых задуговых впадинах рифтового типа: Центрально- и Южно-Суматринской, Северо-Яванской и др.

В качестве основных природных резервуаров на активных окраинах выступают терригенные отложения мелководного генезиса, в которых сконцентрировано более 8 млрд т нефти и 3,67 трлн м³ газа; на втором месте находятся континентальные терригенные осадки (2,65 млрд т нефти и 2,39 трлн м³ газа), на третьем — дельтовые образования (1,65 млрд т нефти и 1,63 трлн м³ газа). В последние годы найдены залежи в глубоководных отложениях, а именно в турбидитах.

Данные по отдельным бассейнам, встречающиеся в научной литературе, отрывочны и не всегда достоверны. В бассейнах, приуроченных к окраинам Карибского региона, куда сбрасывают свои воды такие крупные реки, как Ориноко и Магдалена, дельтовые комплексы малопродуктивны и подавляющая часть запасов (почти 5 млрд т нефти) сконцентрирована в мелководно-морских отложениях. В бассейнах, расположенных в зоне перехода от Филиппинской дуги к Азиатскому континенту, дельто-

вые отложения становятся нефте- и газомещающими: они содержат 0,9 млрд т нефти и 1,1 трлн м³ газа. Велика их роль и в бассейнах материковой окраины Китая, где первое место, однако, занимают континентальные осадки (0,8 млрд т нефти и 0,5 трлн м³ газа). Последние также играют ведущую роль в бассейнах Карибской группы и во впадинах, находящихся в зоне столкновения Австрало-Новогвинейского континентального блока и вулканической дуги моря Банда [7].

В преддуговых бассейнах андийских и невадийских окраин (залив Кука, Гуаякиль-Прогрессо) коллекторами нефти и газа являются терригенные мелководно-морские и континентальные отложения, что вполне естественно, если учесть отсутствие крупных речных дельт в этих переходных зонах. В бассейнах аккреционного комплекса Калифорнии представлен еще один генетический тип терригенных коллекторов — турбидиты и другие глубоководные образования, которые слагают нижнюю половину осадочного чехла. Подобные отложения распространены в бассейнах островных вулканических дуг — Преднансейском, Восточного Хонсю и других, где также развиты аккреционные призмы.

Во впадинах индонезийской окраины основные скопления нефтяных и газовых углеводородов открыты в терригенных комплексах мелководно-морского и континентального происхождения: соответственно 0,51 и 0,2 млрд т нефти, 0,4 и 0,35 трлн м³ газа.

В этих же бассейнах, а также в Филиппинской переходной зоне определенную роль играют карбонатные коллекторы, которые в целом мало характерны для активных окраин. Это в основном рифовые известняки, сформировавшиеся в прибрежной зоне, реже на краю шельфа, когда терригенный вынос с прилегающих участков суши резко ослабевал в процессе трансгрессии моря или аридизации климата. Основными карбонатными коллекторами являются миоценовые рифогенные известняки. Рифовые комплексы регионально нефтегазоносны и в бассейнах Карибского региона, где с ними связаны запасы до 0,6 млрд т нефти и 0,3 трлн м³ газа.

В сложнопостроенной зоне перехода от Азиатского материка к Тихому океану продуктивны карбонатные образования иного генезиса. Это оолитовые и водорослевые известняки, а также доломиты, распространенные во впадинах Бохай и Ляохе, на шельфе и в прибрежной части Желтого моря. В доломитых залежах УВ открыты в пределах Восточного Хонсю (свита ахати).

Открытия последних лет в прибрежной зоне Калифорнии продемонстрировали огромное значение кремнистых пород — порцеланитов. Только в пределах Калифорнийского бордерленда в них обнаружены залежи с большими запасами — 1,1 млрд т нефти. Эти отложения широко представлены и в других переходных зонах с активным тектоническим режимом, являются одним из перспективных

типов коллекторов, не характерных для пассивных окраин. По своему значению они, по существу, сравнялись с карбонатными отложениями, развитыми в бассейнах активных переходных зон, хотя роль последних здесь также невелика. Если в карбонатных коллекторах на пассивных окраинах заключено около 60 % запасов нефти и 52 % газа, то на активных окраинах эти цифры составляют соответственно 6,0 и 8,3 %.

Анализ распределения извлекаемых запасов нефти и газа в отложениях различного возраста свидетельствует о его крайней неравномерности [1—3]. В Тихоокеанском регионе разведано около 12 млрд т нефти и примерно 7,3 трлн м³ газа. Если прибавить к ним запасы нефти и газа, открытые в Карибском регионе, то общие ресурсы бассейнов активных континентальных окраин составят 19,24 млрд т нефти и 10,21 трлн м³ газа. Это составляет примерно 1/5 от запасов УВ сырья, установленных на пассивных окраинах континентов, включая бассейн Персидского залива. Если исключить последний, то данные запасы примерно в 2 раза превысят ресурсы активных окраин и сложнопостроенных переходных зон. При этом в мезозойских отложениях, развитых в зонах перехода с активным тектоническим режимом, сконцентрировано лишь 1,86 млрд т нефти и 0,5 трлн м³ газа. Из этого количества 1,3 млрд т нефти находится в бассейнах Карибского региона, многие из которых развивались вначале как периконтинентальные впадины, но впоследствии трансформировались в передовую прогиб. В других активных зонах, окружающих Тихий океан, вклад мезозойских нефти и газа в общие цифры запасов ничтожен.

Иное соотношение характерно для пассивных континентальных окраин, где мезозойская нефть в основном формирует известные ныне запасы, а газ чуть ли не наполовину палеозойский.

Вклад в общие нефтяные ресурсы пассивных континентальных окраин кайнозойской нефти составляет 22,4 млрд т, т. е. менее 25 %, а кайнозойского газа — около 11,37 трлн м³, т. е. примерно 25 % от общего его количества.

Пассивные окраины по запасам УВ превосходят активные, прежде всего, за счет более древних скоплений нефти и газа, которые на активных окраинах оказались разрушенными.

Таким образом, на континентальной окраине Мирового океана наиболее распространенными являются терригенные коллекторы различного генезиса, однако количество запасов жидких углеводородов примерно одинаково как в терригенных, так и в карбонатных коллекторах благодаря гигантским скоплениям нефти в бассейне Персидского залива; запасы нефти сосредоточены преимущественно в мезозойских отложениях, а газа — в верхнепалеозойских и пермских образованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геодекян А. А., Забанбарк А. Геология и размещение нефтегазовых ресурсов в Мировом океане. — М.: Наука, 1985. — 191 с.
2. Геодекян А. А., Забанбарк А., Конюхов А. И. Тектонические и литологические проблемы нефтегазоносности континентальных окраин. — М.: Наука, 1988. — 176 с.
3. Забанбарк А. Особенности нефтегазоносных бассейнов континентальных окраин Бразилии // *Океанология*. — 2001. — Т. 41, № 1. — С. 147—154.
4. Забанбарк А. Пассивные континентальные окраины Западной Африки и особенности нефтегазоносности их глубоководной части // *Океанология*. — 2002. — Т. 42, № 2. — С. 308—314.
5. Конюхов А. И. Осадочные формации в зонах перехода от континента к океану. — М.: Недра, 1987.
6. Хаин В. Е. Общая геотектоника. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1973.
7. Bon Avraham Zve., Tmery K. O. Structural framework of Sunde Shelf // *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* — 1973. — Vol. 57, № 12. — P. 2323—2366.
8. Deepwater sector marks progress off Africa // *Oil and Gas J.* — 1999. — Vol. 97, № 18. — P. 48—50.
9. Frost S. H., Bliefnick D. M., Haris P. M. Deposition and porosity evolution of a Lower Cretaceous rudist buildup shuaba formation of eastern Arabian Peninsula // *Carbonate Buildups SEPM Core Workshop*. — № 4. Dallas. 16-17 Apr. 1983. Tulsa, Okla, 1983. — P. 381—410.