

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 553.98(551.56)

Нефтегазоносность востока Сибирской платформы: историко-генетический анализ, размещение месторождений нефти и газа

А.Ф. Сафронов

Осадочный чехол восточной части Сибирской платформы сложен отложениями «каледонского», «герцинского» и «кайнозойского» ОПБ, которые развивались по единой схеме: рифтовая, пассивноо-краинная, коллизионная и постколлизионная стадии. Совпадение в вертикальной проекции этих ОПБ способствовало, с одной стороны, активизации процессов генерации и миграции УВ, переформированию залежей УВ в отложениях более древнего ОПБ, а с другой, происходившие процессы вертикальной миграции УВ из отложений более древнего ОПБ в отложения более молодого ОПБ способствовали активизации в них процессов генерации, миграции и аккумуляции УВ.

Ключевые слова: осадочно-породный бассейн (ОПБ), рифтовый, пассивноо-краинный, коллизионный, постколлизионный этапы, размещение месторождений нефти и газа.

The sedimentary layer of the East of Siberian platform is formed with sediments of «Caledonian», «Hercynian» and «Cenozoic» sedimentary rock basins (SRB) which were evolving by the same scheme: rift, passive margin, collision and post collision stages. Matching in vertical projection of these SRB on the one hand favored the activation of processes of generation and migration of hydrocarbons, reshaping of hydrocarbon deposits in the layers of elder SRB, on the other hand processes of vertical migration of hydrocarbons from layers of elder SRB to the layers of the new SRB favored the activation in them of processes of generation, migration and accumulation of hydrocarbons.

Key words: sedimentary rock basin (SRB), rift, passive margin, collision and post collision stages, oil and gas fields distribution.

В строении осадочного чехла восточной части Сибирской платформы принимают участие отложения широкого стратиграфического диапозона – от среднего рифея до кайнозоя, который был подразделен в свое время на пять структурно-вещественных мегакомплексов [1]. С позиций бассейнового подхода осадочной чехол восточной части Сибирской платформы состоит из трех однотипных по генезису рифейско-нижнепалеозойского, среднепалеозойско-нижнемезозойского и кайнозойского осадочно-породных бассейнов (ОПБ)*, в значительной степени совпадающих в вертикальной

проекции. В состав этой части платформы в историко-генетическом плане включается Лаптевская плита, которая до верхнего мела являлась частью Сибирской платформы [2, 3]. Назовем их, с известной степенью условности, в связи с не строгостью применяемого критерия, как, соответственно: «каледонский», «герцинский» и «кайнозойский» ОПБ. Для этих ОПБ характерна одна и та же стадийность развития – рифтовая, пассивноо-краинная, коллизионная и постколлизионная. Если первых два возрастных уровня ОПБ прошли все эти стадии, соответственно: рифейский и девонский рифтогенез, вендскую и каменноугольно-верхнеюрскую пассивноо-краинную; кембрийскую и верхнеюрско-нижнемеловую коллизионную, нижнепалеозойскую и третично-кайнозойскую постколлизионную стадии, то кайнозойский уровень (шельф моря Лаптевых) – только рифтовую (позднемеловую-третичную) стадию и в настоящее время находится на пассивноо-краинной. Характерной особенностью «каледонского» и «герцинского» ОПБ является наличие сквозных (регенерированных) структур

САФРОНОВ Александр Федотович – д.г.-м.н., чл.-корр. РАН, акад. АН РС(Я), директор ИПНГ СО РАН, a.f.safronov@ipng.ysn.ru.

*Вслед за А.А.Трофимуком, А.Э.Конторовичем и М.С.Моделевским (1979 г.) автор придерживается мнения о том, что термины «осадочно-породный бассейн», «седиментационный бассейн», «осадочный бассейн» являются синонимами.

(Вилуйская и Оленекская зоны авлакогенов), представлявших собой зоны растяжения, через которые могло происходить соединение внутрикратонных структур с образующимися субили океаническими бассейнами.

«Каледонский» ОПБ в пределах рассматриваемой территории развит практически повсеместно, а на рифтовой и синеклизной стадиях распространялся на восток, включая материковую окраину пассивного типа.

На рассматриваемой территории рифтовая стадия этого ОПБ представлена Ангаро-Вилуйской и Оленекской зонами авлакогенов и более мелкими трогами, которые выполнены преимущественно мелководными морскими и лагунными отложениями, содержащими покровы базитов. Толщина рифейских (преимущественно средне-верхнерифейского возраста) отложений на большей части территории востока Сибирской платформы не превышает первых сотен метров и лишь в авлакогенах достигает 4000 м, сокращаясь на их плечах до 2000–1000 м и менее (рис. 1,а).

Нижняя граница пассивноокраинной стадии «каледонского» ОПБ определяется, на наш взгляд, достаточно четко – вендские отложения трансгрессивно перекрывают разные части разреза рифея или залегают непосредственно на породах кристаллического фундамента. Верхняя граница этой стадии имеет, по-видимому, скользящий характер и нами, в известной степени условно, проводится по стратиграфическому перерыву, приходящемуся на большей части рассматриваемой территории, на верхи амгинского и майский ярус. В южной части рассматриваемой территории, являвшейся частью Патомской пассивной континентальной окраины, эта стадия условно выделяется в объеме венда.

Разрез пассивноокраинной стадии этого ОПБ сложен терригенно-карбонатными породами, соотношение которых меняется по площади. Суммарная максимальная толщина разреза этой стадии развития в пределах современной восточной части Сибирской платформы по результатам глубокого бурения достигает 3500 м, в пределах современной платформенной части – 2000 м. На склонах Алданской и Анабарской антеклиз толщина этих отложений не превышает 1000 м (рис. 1,б).

Разрез коллизионной стадии, включающий, по нашим представлениям, в южной части рассматриваемой территории кембрийские отложения, а в северной часть разреза среднего кембрия и верхоленскую свиту верхнего кембрия, сложен карбонатными и терригенно-

карбонатными породами (рис. 1,в). С коллизионной стадией связана стадия формирования краевого прогиба [2, 3]. Следует заметить, что отложения стадии краевого прогиба для этого ОПБ могут быть выделены только в пределах зоны сочленения платформы с Непско-Патомским сегментом Байкало-Патомского складчатого пояса. В патомской части рассматриваемой территории к коллизионному этапу нами условно относится весь разрез кембрия. Разрез кембрия характеризуется широким площадным развитием на нескольких стратиграфических уровнях каменных солей, весьма характерных для формационного ряда краевого прогиба.

Ретроспективный анализ пространственно-временного распространения зон генерации УВ в рифейско-вендских отложениях, по крайней мере, патомского сектора континентальной окраины Сибирского континента, свидетельствует о том, что большая часть этих отложений к началу коллизионного этапа прошла главную зону нефтеобразования (ГЗН) и вошла в главную зону газообразования (ГЗГ).

В постколлизионный этап развития «каледонского» ОПБ (ордовик-силур) на рассматриваемой территории происходило отложение преимущественно пестроцветных глинисто-карбонатных, иногда гипсоносных, отложений, толщина которых редко превышала 500 м.

Формирование «герцинского» ОПБ началось с формирования системы рифтовых структур среднего девона. В ее составе выделяются Палеоверхоянский рифт, протягивавшийся от низовьев р. Лены до Сетте-Дабана (в современных координатах), и подходящие к нему под разными углами Вилуйский и Оленекский рифты. По Е.Е. Милановскому [4], эта система рифтовых структур представляла собой регенерированную систему рифейской рифтовой континентальной системы (рис. 1,в). Наличие предрифтового вспучивания в зоне Палеоверхоянского рифта четко фиксируется на восточном склоне Мунского поднятия [2]. Для всей этой системы характерно сочетание в разрезе базитов, красноцветных и галогенных пород. Фрагменты таких разрезов прослеживаются на Сетте-Дабане, в междуречье Уэль-Сиктях – Джарджан (хр. Орулган), на Северном Хараулахе, в Кемпендяйской впадине и на п-ве Нордвик.

Разрез рифтовой стадии развития «герцинского» ОПБ включает средне-верхнедевонские и нижнекаменноугольные (турне) осадочные, вулканогенно-осадочные и галогенные отложения. Отложения этой стадии развития пользуются ограниченным площадным распространением и присутствуют (сохранились), по-видимому, только в пределах грабенных, входивших в собст-

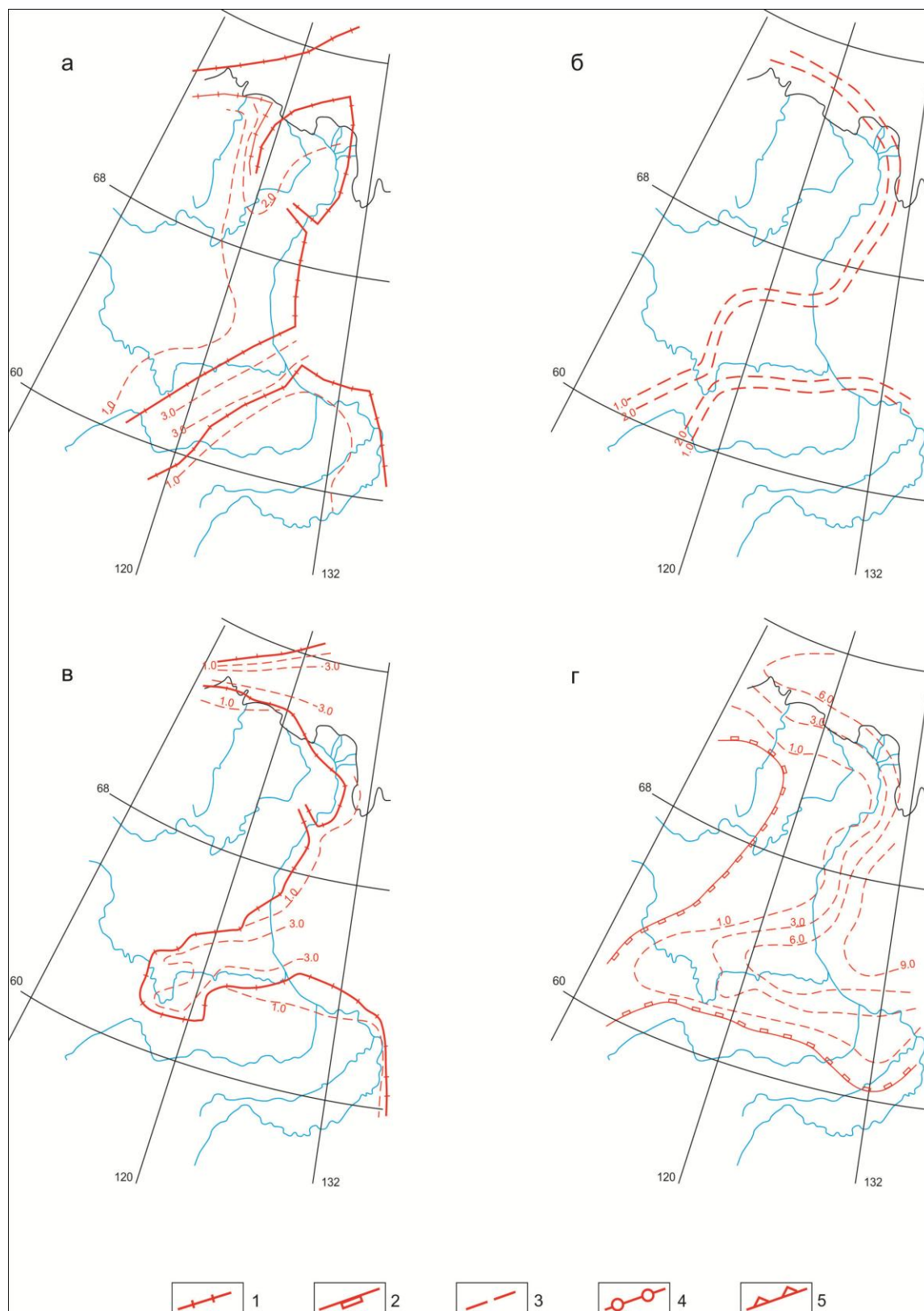


Рис. 1. Этапы геологического развития ОПБ восточной части Сибирской платформы: а – рифтовый этап каледонского ОПБ; б – пассивноокаинный этап каледонского ОПБ; в – рифтовый этап герцинского ОПБ; г – пассивноокаинный этап герцинского ОПБ: 1 – границы рифтовых структур; 2 – внешняя граница распространения отложений ОПБ; 3 – толщины отложений, км; 4 – внешняя граница краевого прогиба; 5 – надвиги в зоне сочленения структур платформы со складчатым поясом

венно систему рифтов. Наибольшая толщина этих отложений установлена в Кемпендяйской впадине (6000 м), где присутствует мощная (до 1000 м) толща каменной соли верхнедевонского возраста.

На пассивноокраинной стадии развития «герцинского» ОПБ (намюрский ярус нижнего карбона – верхняя юра) сформировалась терригенная преимущественно сероцветная толща неравномерного сложного чередования песчаников, алевролитов и аргиллитов, отдельные стратиграфические интервалы которой характеризуются преобладанием той или иной литологической разности. В позднем палеозое – раннем мезозое восточная часть Сибирской платформы в геоморфологическом плане представляла собой приморскую низменность с глубоко вдававшимися в тело континента Вилу́йским и Оленекским заливами (в современном структурном плане – синеклизами). Максимальные толщины разреза этой стадии развития достигают 7 км в современной зоне сочленения платформы с Верхоянским складчатым поясом. Практически половина толщины этого разреза приходится на пермские отложения (рис. 2,б).

Значительные толщины позднепалеозойских-нижнемезозойских отложений, возмставшие на восток в сторону пассивной континентальной окраины, способствовали погружению в термобарические условия главных фаз нефтеобразования (ГФН) и газообразования (ГФГ), например пермских отложений уже к началу юрской эпохи [2].

Формирование позднепалеозойско-мезозойского чехла пассивноокраинной стадии «герцинского» ОПБ способствовало погружению отложений «каледонского» ОПБ на значительной части рассматриваемой территории на глубины, способствовавшие активизации в докембрийских и нижнепалеозойских отложениях процессам генерации и миграции УВ на склоны Анабарской и Алданской антеклиз. Например, только на этой стадии эволюции восточной части Сибирской платформы в термобарические условия ГФН попали отложения куонамской формации Суханской впадины и прилегающих территорий.

Активизация процессов миграции УВ в отложениях «каледонского» ОПБ в позднем палеозое – раннем мезозое произошла на значительной части территории их распространения. Следы активизации процессов УВ миграции в позднем палеозое – раннем мезозое достаточно четко фиксируются на южном склоне Анабарской антеклизы. В частности, геохимические характеристики нафтидов, насыщающих тела

кимберлитовых трубок и вмещающих их осадочных пород в Далдыно-Алаkitском кимберлитовом поле, характер насыщения их нафтидами достаточно четко свидетельствуют о том, что основное насыщение нафтидами осадочного разреза в этом районе произошло после среднепалеозойской эпохи кимберлитового магматизма [5]. Интенсивная нафтидонасыщенность венд-нижнепалеозойского разреза южного и юго-восточного склонов Анабарской антеклизы, которая проявляется в виде «битумных полей» (Силигир-Мархинское, Восточно-Анабарское, Центральное-Оленекское) и фиксируется в кимберлитовых трубках и вмещающих их породах, свидетельствует о масштабах генерации УВ в рифейских и вендских, в первую очередь, отложениях. Отсутствие же в этом районе в венд-нижнепалеозойском разрезе солей, как идеально-го флюидоупора, привело к «размазыванию» посредством вертикальной миграции в нижнепалеозойском разрезе огромных масс нафтидов.

Коллизионный этап развития «герцинского» ОПБ (верхняя юра – нижний мел) на востоке Сибирской платформы выразился в формировании Предверхоянского прогиба [2]. Предполагается продолжение этого прогиба в восточной части Лаптевской плиты, образовывавшегося под воздействием тектонических пластин продолжавшегося на север Западно-Верхоянского складчатого пояса надвигавшимися с востока. Разрез этого этапа развития «герцинского» ОПБ сложен преимущественно угленосными отложениями континентального генезиса, толщина которых в зоне сочленения прогиба с Верхоянским складчатым поясом достигает 3,5–4 км (рис. 1,г).

К концу коллизионной стадии развития «герцинского» ОПБ в пределах системы краевых депрессий востока Сибирской платформы значительная часть разреза пассивноокраинной стадии развития «герцинского» ОПБ вышла из ГЗН, а ниже залегающие отложения «каледонского» ОПБ погрузились ниже ГЗГ [2].

Отложения постколлизионного этапа (возрастной диапазон верхний мел – неоген) сохранились в пределах восточной части Вилу́йской синеклизы и центральной части Предверхоянского прогиба.

Формирование «кайнозойского» ОПБ рассматриваемой территории связано с проявлением позднемелового – кайнозойского этапа рифтогенеза в пределах всей Арктической геодепрессии. Раскрытие Евразийского бассейна на рубеже позднего мела и палеогена привело к погружению территории современного шельфа моря Лаптевых, которая еще в верхнем мелу представляла собой аккумулятивную приморскую равнину, аналогичную существовавшей в мезозое на

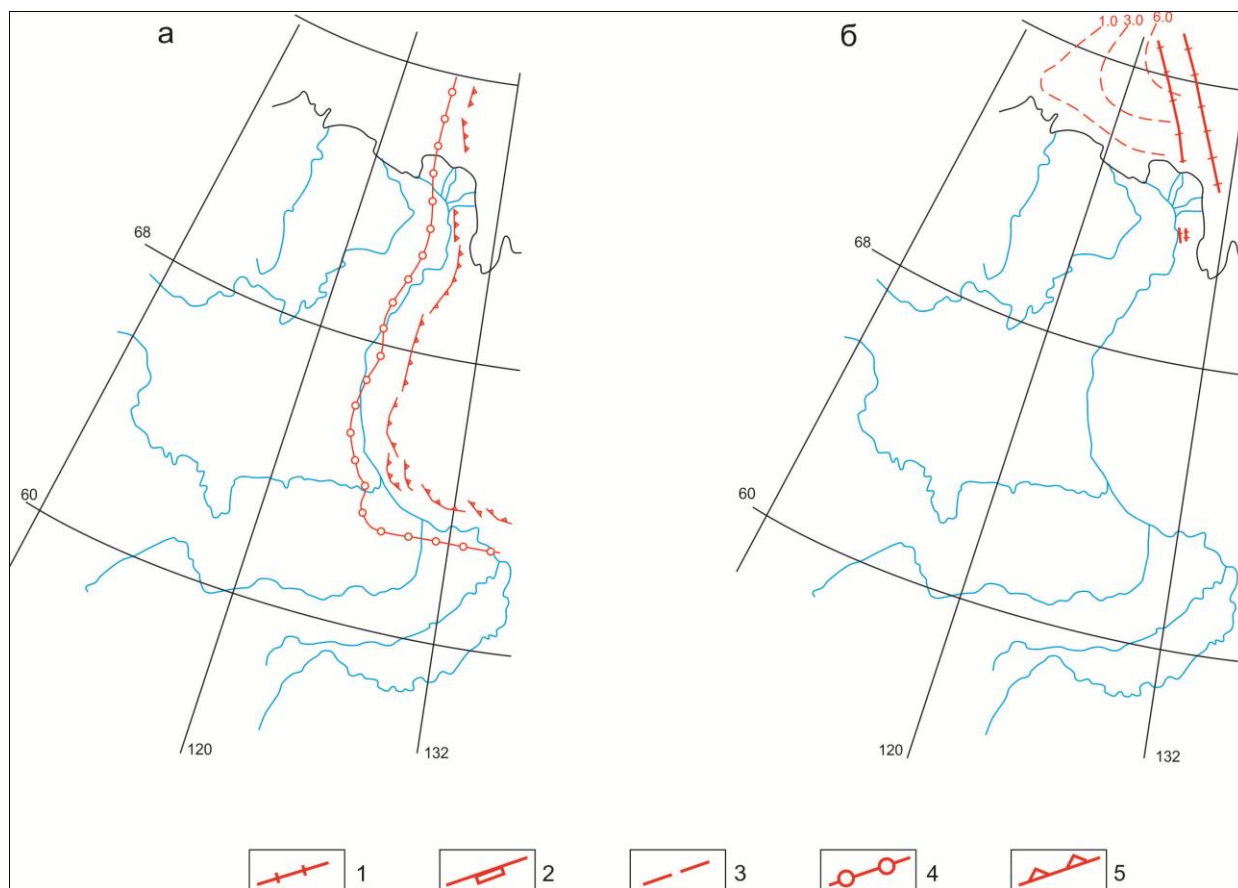


Рис. 2. Основные этапы развития ОПБ восточной части Сибирской платформы: а – коллизионный этап развития герцинского ОПБ; б – рифтовый и пассивнооокраинный этапы кайнозойского ОПБ. Усл. обозначения см. на рис. 1

территории современной Вилюйской синеклизы. В этот период формируется рифтовая система субмеридионального направления в виде узких трогов (в литературе чаще объединяемых в Усть-Ленский желоб). Небольшие, неглубокие трог (Кенгдейский грабен) прослеживаются и на современной континентальной части рассматриваемой территории. В настоящее время «кайнозойский» ОПБ в пределах шельфа моря Лаптевых находится на пассивнооокраинной стадии (рис.2,б). На этапе формирования «кайнозойского» ОПБ в пределах континентальной части рассматриваемой территории резко усилились процессы восходящих тектонических движений.

Особенности геологического развития восточной части Сибирского кратона и сопредельных древних континентальных окраин отразились и на особенностях размещения месторождений нефти и газа.

С эволюцией «каледонского» ОПБ генетически связаны все открытые к настоящему времени месторождения нефти и газа в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы, Нюйско-Джербинской и Березовской впадин.

В пределах северо-восточной части Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области можно выделить, на наш взгляд, Непскую и Мирнинскую зоны нефтегазонакопления, приуроченных, соответственно, к Непскому мегасводу и Мирнинскому мегавыступу.

Непский мегасвод осложнен локальными структурами чаще всего сундучного типа. Амплитуда этих складок обычно первые десятки метров, реже 100–150 м. Широко развиты разрывные нарушения. Складки часто осложнены внутрипластовым перераспределением каменной соли и внедрением траппов. Анализ факторов, контролирующих размещение залежей нефти и газа в пределах Непской зоны нефтегазонакопления, позволяет сделать вывод о преобладании литологического фактора и даже в случае заметного влияния тектонического фактора роль литологического фактора весьма существенна (Тымпучиканское месторождение).

Для Мирнинской зоны нефтегазонакопления фиксируется заметное преобладание структурного и тектонического контроля в размещении залежей нефти и газа. Все открытые в этой зоне месторождения приурочены к локальным поло-

жительным структурам, образование которых связано с разрывными нарушениями. Различия в гипсометрических отметках газожиждкостных отметок, приуроченных к разным тектоническим блокам, свидетельствуют о том, что эти разломы не являются флюидопроводящими, т.е. являются экранами.

Исходя из изложенных выше представлений об истории развития Непско-Патомского сегмента вендской пассивной континентальной окраины, в пределы НБА на пассивноокраинной стадии мигрировали преимущественно УВ в жидкой фазе (образование газовых шапок на газонефтяных месторождениях в большей степени, по-видимому, связано с образованием криолитозоны). На коллизионной стадии развития, когда основные генерирующие отложения вошли в ГФГ, миграция УВ происходила, преимущественно, в газообразной фазе. Исходя из этого можно предположить, что месторождения, которые могут быть открыты в пределах Нюйско-Джербинской и Березовской впадин, будут преимущественно газовыми и газоконденсатными.

С эволюцией «герцинского» ОПБ генетически связаны месторождения нефти и газа, открытые в пермских, нижнетриасовых и нижнеюрских отложениях мезозойских краевых депрессий востока Сибирской платформы.

В Вилуйской синеклизе все открытые месторождения газа и газоконденсата приурочены к локальным положительным структурам. В 2011 г. исследованиями ИПНГ СО РАН было доказано существование нефтяных оторочек в нижнетриасовой и нижнеюрской частях разреза практически на всех газоконденсатных месторождениях Хапчагайского мегавала. Все эти структуры, за исключением Нижне-Тюкянской, осложняют положительные структуры более высокого порядка – Хапчагайский и Логлорский мегавалы. Анализ геофизических полей и общегеологических представлений о развитии данной территории в течение среднего–верхнего протерозоя – мезозоя позволяет сделать вывод о том, что большинство этих структур являются бескорневыми [6]. По своей природе они являются криптодиapiровыми, т.е. сформировавшимися в результате внутриформационных перемещений каменной соли средне–верхнедевонского возраста.

Анализ истории развития «герцинского» ОПБ позволяет сделать вывод о том, что на пассивноокраинном этапе развития спектр ловушек для формирования скоплений УВ был ограничен только ловушками неантиклинального типа [2]. По-видимому, основная масса УВ, генерированных в пределах шельфа, кон-

тинентального склона и подножия, в процессе дальней латеральной миграции достигла западной периферии ОПБ после преднижнеюрского перерыва. Так, большая часть известных к настоящему времени нафтидопроявлений приурочена к юрским отложениям (проявления в нижнеюрских отложениях верховьев р. Муны, низовьев рек Муна и Моторчуна, в среднеюрских отложениях р. Хоруонгка и др.). На коллизионном этапе происходила аккумуляция УВ в ловушках структурного типа, в т.ч. в структурах, образовавшихся в результате галокинеза, так и в структурах, формировавшихся в лобовых частях надвигаемых тектонических пластин Западно-Верхоянского складчатого пояса.

В зоне сочленения Предверхоянского прогиба с Западно-Верхоянским складчатым поясом широко развиты надвиговые дислокации. К настоящему времени в центральной части прогиба открыты два газовых месторождения (Усть-Вилуйское, Собо-Хаинское), приуроченные к структурам, осложненным надвигами. Исходя из наших представлений о последовательности процессов миграции и образования надвиговых структур в зоне сочленения Предверхоянского прогиба с Западно-Верхоянским складчатым поясом, можно предположить, что формирование залежей УВ в подобных структурах являлось более поздним по времени по сравнению с залежами в пределах Вилуйской синеклизы.

Убедительным, на наш взгляд, подтверждением тезиса об активизации процессов генерации и миграции УВ в древних отложениях под влиянием развития более молодого ОПБ является Оленекское месторождение битумов. Битумом насыщены породы венда-нижнего кембрия, верхнего кембрия и перми. Большая часть запасов битума приурочена к пермским отложениям. Сочетание присутствия в ХБ из керна пермского возраста Чарчыкской скв. биометок 12–13-метилалканов, характерных для нефтей из венд-нижнепалеозойских отложений Сибирской платформы, и широкого диапазона значений изотопного состава углерода битумов Оленекского месторождения свидетельствуют о гетерогенном генезисе этих нафтидов [7,8].

В пределах Анабаро-Хатангской седловины, как и в Кемпендяйской впадине, в разрезе присутствуют девонские соли. Формы проявления галокинеза на седловине более разнообразны – от соляных штоков до криптодиapiровых структур. Основная причина в заметно большей толщине постдевонских осадков на седловине по сравнению с Кемпендяйской впадиной – в последней она не превышает 1,5 км, тогда как в пределах Анабаро-Хатангской седловины толщина постдевонских отложений достигает 6 км. При этом

толщина последевонских отложений возрастает в пределах седловины при движении на запад – от 2,5 км на востоке до 6 км на побережье Хатангского залива. В этом же направлении возрастают масштабы галокинеза – от криптодиapiровых структур на востоке до соляных штоков на побережье Хатангского залива. В конце 40-х годов прошлого столетия здесь было открыто 4 небольшие нефтяные месторождения. Нафтидопроявления разного масштаба зафиксированы практически по всему вскрытому глубоким бурением разрезу. По данным В.А.Каширцева с соавторами [9], нефти Южно-Тигянского месторождения, судя по ряду особенностей углеводородного состава, в первую очередь биомаркеров, имеют смешанный девонско-пермский источник.

Итак, совпадение в вертикальной проекции разновозрастных ОПБ способствовало, с одной стороны, активизации процессов генерации и миграции УВ, переформированию залежей УВ в отложениях более древнего ОПБ, а, с другой, происходившие процессы вертикальной миграции УВ из отложений более древнего ОПБ в отложения более молодого ОПБ – активизации в них процессов генерации, миграции и аккумуляции УВ.

Литература

1. Структура и эволюция земной коры Якутии / Г.С. Гусев, А.Ф. Петров и др. – М.: Наука, 1975. – 197 с.
2. Сафронов А.Ф. История нефтегазообразования

и нефтегазоаккумуляции в краевых системах севера Тихоокеанского пояса: автореф. дис. ... д.г.-м.н. – М., 1987. – 36 с.

3. Сафронов А.Ф. Историко-генетический анализ процессов нефтегазообразования (на примере востока Сибирской платформы). – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. – 145 с.

4. Милановский Е.Е. Рифтогенез в истории Земли. – М.: Недра, 1983. – 280 с.

5. Сафронов А.Ф., Зинчук Н.Н., Каширцев В.А. и др. Нафтидопроявления в кимберлитовых трубках и вмещающих породах Якутской алмазоносной провинции // Геология и геофизика. – 2005. – Т.46, №2. – С. 151–159.

6. Сафронов А.Ф., Берзин А.Г., Фрадкин Г.С. Тектоническая природа локальных поднятий Вилуйской синеклизы // Геология нефти и газа. – 2003. – №4. – С. 20–28.

7. Сафронов А.Ф., Ситников В.С., Каширцев В.А., Микуленко К.И. Перспективы нефтегазоносности арктической части территории Западной Якутии // Российская Арктика. Геологическая история. Минералогия. Геоэкология. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. – С. 347–353.

8. Каширцев В.А. Органическая геохимия нафтидов востока Сибирской платформы. – Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. – 160 с.

9. Каширцев В.А., Конторович А.Э., Филл Р.П. и др. Биомаркеры в нефтях восточных районов Сибирской платформы как индикаторы условий формирования нефтепроизводивших отложений // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, №11. – С. 1700–1710.

Поступила в редакцию 25.07.2014

УДК 551.24:553.81(571.56)

Тектонические предпосылки кимберлитового магматизма на юге Якутской алмазоносной провинции

Е.В. Проценко, Н.И. Горев, О.С. Граханов

Данные нефтеразведочного бурения позволили провести исследования тектоники южной части Якутской алмазоносной провинции. Изучаемая территория приурочена к центральной части региональной Вилуйско-Мархинской зоны разломов, отличающейся более сложным строением осадочного чехла. Анализ тектонических схем дал возможность обосновать перспективность этой территории и выделить наиболее благоприятный участок для поисков кимберлитового поля.

Ключевые слова: тектоника, разрывные нарушения, кимберлитовое поле, алмазы.

The data of oil prospecting drilling allowed to carry out the study of tectonics of the southern part of the Yakut diamondiferous province. The investigated territory belongs to the central part of the regional Vilyuysk-Markhinskaya zone of breaks having more complex structure of the sedimentary cover. The analysis of

ПРОЦЕНКО Елена Викторовна – н.с. НИГП АК «АЛРОСА», protsenkoEV@alrosa.ru; ГОРЕВ Николай Иванович – к.г.-м.н., в.н.с. НИГП АК «АЛРОСА», gorevni@alrosa.ru; ГРАХАНОВ Олег Сергеевич – к.г.-м.н., зав. лаб. НИГП АК «АЛРОСА», grakhanovos@alrosa.ru.