УДК 553.982

УГЛЕВОДОРОДНЫЕ СИСТЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ АНАБАРО-ЛЕНСКОГО ПРОГИБА

С.В. Фролов, Н.И. Коробова, Е.А. Бакай, Н.С. Курдина
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Анабаро-Ленский прогиб является одной из наименее изученных в геологическом отношении территорий на Сибирской платформе. Немногочисленные пробуренные здесь скважины пока не выявили прямых признаков его нефтеносности. Однако косвенные данные говорят о том, что этот регион может оказаться весьма перспективным. Об этом говорят доказанная нефтегазоносность ближайшего обрамления прогиба (нефть в Хатангской седловине, битумы Оленекского поля) и мощный осадочный чехол в стратиграфическом диапазоне от рифея до нижнего мела. Проведенные исследования показывают, что здесь в разрезе присутствует несколько углеводородных систем, с которыми может быть связано открытие в дальнейшем промышленных залежей нефти и газа. Самыми древними из них являются верхнепротерозойские и нижнепалеозойские – рифейские, вендские и кембрийские. В них на нескольких уровнях выявлены толщи, обогащенные органическим веществом. Резервуарами могут служить как песчано-алевритовые пачки, так органогенные карбонаты. Наиболее перспективным представляется пермский комплекс, толщина которого может достигать 2-3 км. Он содержит материнские толщи хорошего качества, углеводородный состав органического вещества которых, судя по результатам биомаркерного анализа, сходен с нефтями и битумами имеющихся залежей и проявлений. Пермские резервуары имеют сложное строение с обилием зон выклинивания и замещения, что предопределялось частой сменой обстановок осадконакопления.

Ключевые слова: Анабаро-Ленский прогиб, Сибирская платформа, углеводородные системы, природные резервуары, нефтегазоматеринские породы

DOI: http://doi.org/10.18599/grs.19.18

Для цитирования: Фролов С.В., Коробова Н.И., Бакай Е.А., Курдина Н.С. Углеводородные системы и перспективы нефтегазоносности Анабаро-Ленского прогиба. *Георесурсы*. 2017. Спецвыпуск. Ч. 2. С. 173-185. DOI: http://doi.org/10.18599/grs.19.18

Анабаро-Ленский прогиб входит в состав системы периферических мезозойских депрессий севера и востока Сибирской платформы, которая помимо него включает Енисей-Хатангский прогиб, Хатангскую седловину, Предверхоянский краевой прогиб и Вилюйскую синеклизу. Особенностью этих депрессий является то, что здесь на верхнепротерозойские и нижнесреднепалеозойские комплексы, характерные для центральных районов платформы (Лено-Тунгусский нефтегазоносный бассейн), наложены мощные толщи верхнего палеозой и мезозоя (Рис. 1). Это практически в два раза увеличивает мощность осадочного чехла таких бассейнов и в значительной мере расширяет диапазон потенциальных углеводородных систем, что положительно сказывается на оценке перспектив.

В нефтегеологическом отношении Анабаро-Ленский прогиб входит в состав обширной Хатангско-Вилюйской провинции и является единственным ее элементом, где отсутствуют выявленные залежи нефти и газа. Отчасти это может быть объяснено низкой степенью изученности (в пределах прогиба пробурено только шесть глубоких скважин). Но вопрос об эффективности углеводородных систем данного региона до сих пор весьма актуален.

В пользу положительной их оценки косвенно свидетельствуют два факта. С одной стороны, в расположенной к западу Хатангской седловине получены промышленные притоки нефти на двух месторождениях (Нордвикское и Южно-Тигянское) и отмечались многочисленные нефте- и газопроявления (как в скважинах, так и на поверхности). При этом разрезы Хатангской седловины и Анабаро-Ленского прогиба на первый взгляд весьма сходны за некоторыми исключениями (в Хатангской седловине сокращена мощность мезозойских комплексов, но присутствуют среднепалеозойские, в том числе девонские соли).

Второй фактор, внушающий оптимизм – это Оленекское битумное поле, по всей видимости, крупнейшее в России. Это месторождение связано с выходами на поверхность пермских песчаников и (в меньшей степени) кембрийских карбонатов. Битумное поле расположено в юго-восточном обрамлении Анабаро-Ленского прогиба. Пока, к сожалению, нельзя, однозначно сказать, откуда сюда мигрировала нефть – еще одним вероятным источником является Предверхоянский прогиб. Но Анабаро-Ленское происхождение углеводородов представляется все же более вероятным: этот прогиб ближе и в его направлении битуминозность прослеживается по колонковым скважинам на расстоянии до 50 км от мест естественных выходов. В самой северной скважине Оленекского поля (Тюмятинская Р-50), расположенной уже на самой границе Анабаро-Ленского прогиба отмечаются наименее окисленные разности (мальты и высоковязкие нефти).

Тектонические элементы

Анабаро-Ленский прогиб протягивается вдоль северной окраины Сибирской платформы в субширотном направлении примерно от устья реки Анабар до устья Лены (Рис. 2). Его южная граница различными исследователями проводится по выклиниванию юрских (чаще среднеюрских) или пермских отложений на северных склонах Анабарской антеклизы – одним из наиболее приподнятых элементов платформы.

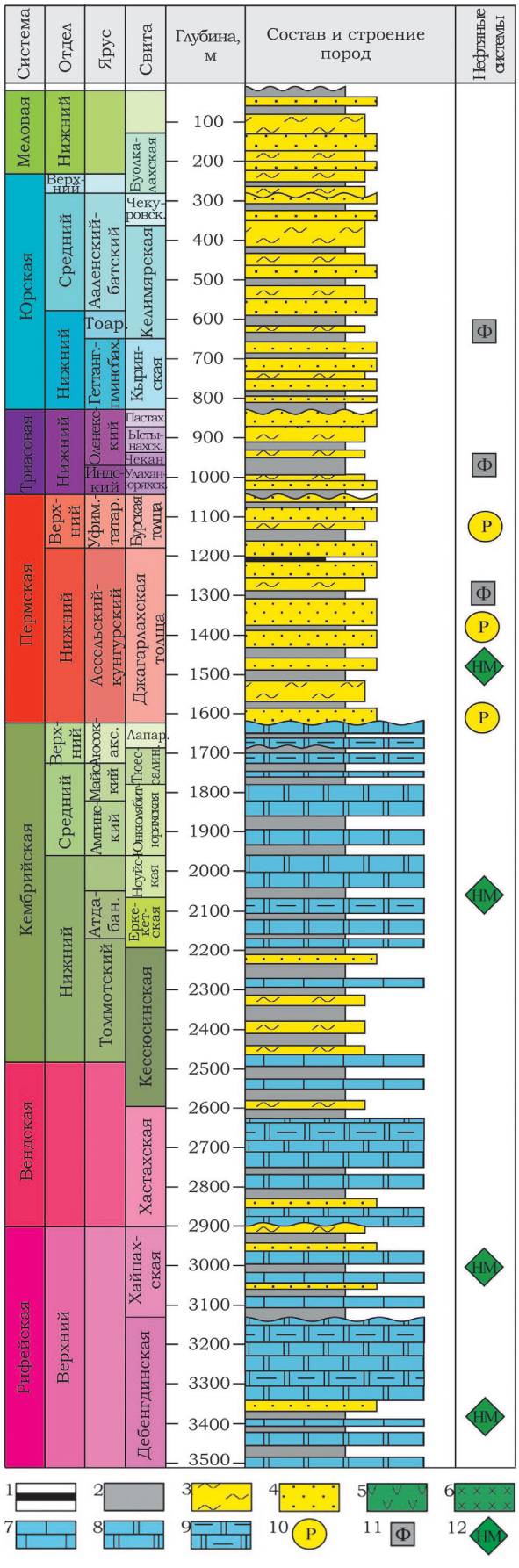


Рис. 1. Сводная литолого-стратиграфическая схема Анабаро-Ленского прогиба по данным бурения скв. Хастахская-930. Типы пород: 1 – угли; 2 – глины, аргиллиты; 3 – алевролиты; 4- песчаники; 5 – туфы, туффиты; 6 – долериты; 7 – известняки; 8 – доломиты; 9 – доломиты глинистые; нефтяные системы: 10 – резервуары; 11 – флюидоупоры; 12 – нефтематеринские

На востоке Анабаро-Ленский прогиб граничит с Предверхоянским краевым прогибом., который сформировался в поздней юре-раннем мелу на стыке Сибирской платформы и Верхоянского складчато-надвигово пояса. Образования, слагающие складчатое сооружение, смяты в систему крупных линейных складок, протяженностью до 150-200 км при ширине 20-30 км. Граница Анабаро-Ленского и Предверхоянского прогибов проводится по Атырканскому порогу – валообразному поднятию, поперечному простиранию Предверхоянского прогиба.

Западная граница – с Хатангской седловиной – имеет довольно условный характер и соответствует субширотной Пахсино-Бегичевской флексуре, вдоль которой отмечается увеличение мощности мезозойских толщ в восточном направлении. Строение южной и центральной частей Хатангской седловины по верхнепалеозойским и мезозойским горизонтам весьма напоминает строение Анабаро-Ленского прогиба. При этом некоторые структурные элементы прогиба продолжаются и на территорию седловины (например, Оленекский вал, по всей видимости, переходит в Тигяно-Анабарский вал). Следует отметить, что депоцентр Хатангской седловины (Хара-Тумусская впадина) находится в северных ее районах, севернее Тигяно-Анабарского вала

Положение северной границы Анабаро-Ленского прогиба является дискуссионным, так как его северная часть перекрыта водами моря Лаптевых и мощными четвертичными образованиями прибрежной низменности. Одни исследователи проводят границу Анабаро-Ленского прогиба по Оленекскому валу, другие «отодвигают» ее значительно севернее в акваторию южной части моря Лаптевых. Имеющиеся геофизические данные свидетельствуют в пользу того, что в основании Лаптевоморского бассейна (во всяком случае, в его восточной части) вероятно, отсутствуют неметаморфизованные домеловые образования (Drachev et al, 1998). Однако, где конкретно заканчивается область распространения «платформенного» верхнего палеозоя-мезозоя (т.е. проходит северная граница Анабаро-Ленского прогиба) пока не установлено.

По верхнепалеозойским и мезозойским отложениям Анабаро-Ленский прогиб имеет асимметричное строение (Рис. 3). Южный его борт представляет собой пологую (не более 2-3°) моноклиналь шириной от 30-50 до 100-150 км (Фролов, 1990). Депоцентр прогиба заметно смещен к северу и выражен субширотно вытянутой на 350 км цепочкой впадин (с востока на запад Нижнеленская, Таймылырская, Буолкалахская и Уэлинская впадины). Мощность верхнепалеозойско-мезозойских отложений в этих впадинах составляет 3-4,5 км. Северные борта впадин более крутые (10-15° по юрско-меловым горизонтам).

К северу от описанной цепочки депрессий располагается Оленекский вал, контрастная антиклинальная структура, протягивающаяся вдоль южного берега моря Лаптевых на 450 км от устья Лены до устья Анабара. Вал представляет серию высокоамплитудных (до 1 км) поднятий (с востока на запад поднятия Чеконовского, Усть-Оленекское и Прончищева), кулисообразно смещенных друг относительно друга. Поднятия нарушены многочисленными разломами, и они хорошо выражены как на геологических картах (в сводах выходят юрские и триасовые породы), так и в современном рельефе.

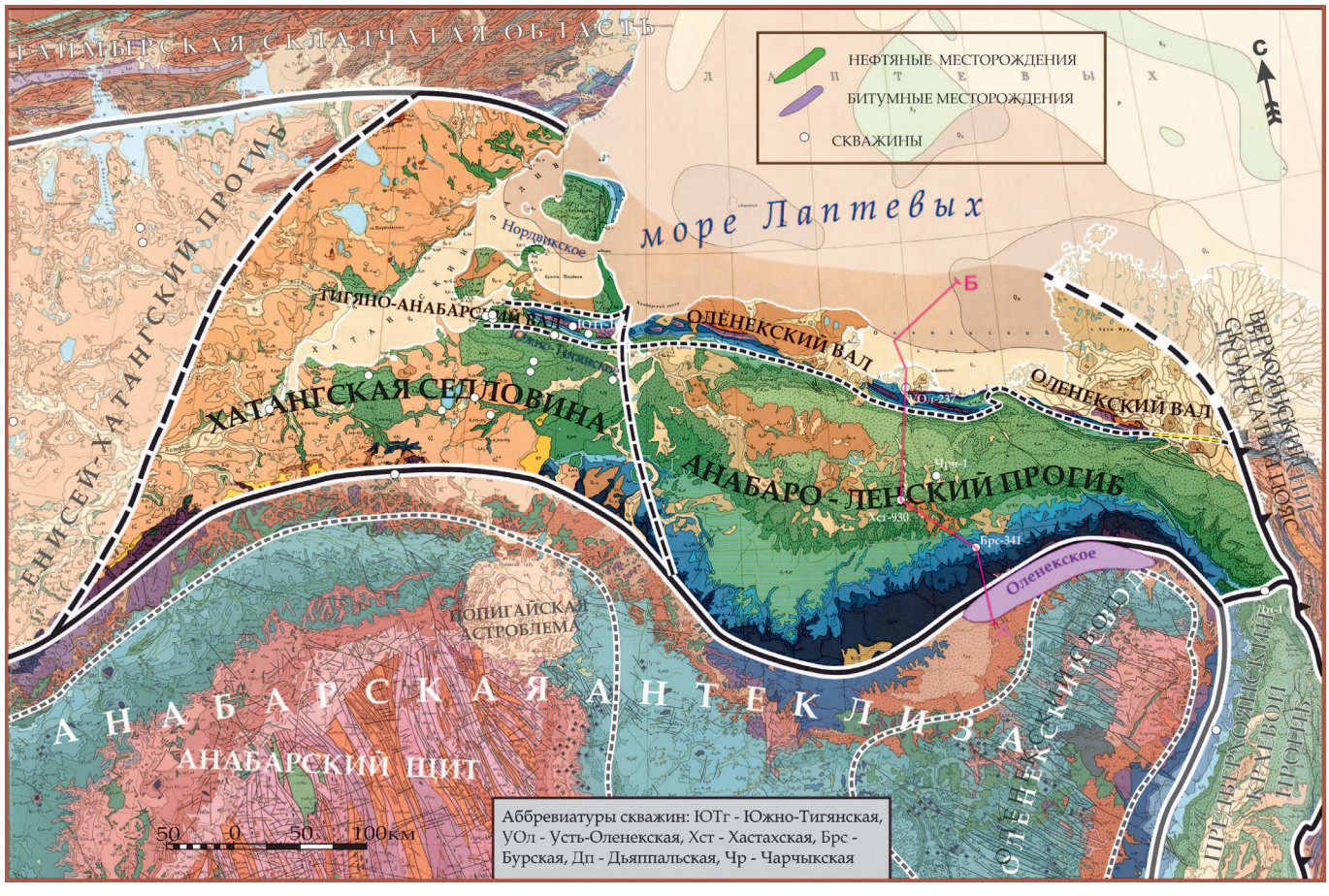


Рис. 2. Обзорная схема Анабаро-Ленского прогиба и Хатангской седловины (основа: Геологическая карта Сибирской платформы и прилегающих районов, 1: 1 500 000, (Малич и др., ВСЕГЕИ, 1979)

Некоторые исследователи видят в Оленекском валу северо-западное ответвление Верхоянского сладчатого пояса, интерпретируют его в виде сложнопостроенной надвиговой структуры (Тектоника …, 2001), однако имеющиеся данные сейсморазведки позволяют рассматривать его как чисто внутриплатформенную структуру. Судя по характеру мощностей (в пермско-мезозойском возрастном диапазоне они близки на своде и крыльях) Оленекский вал является молодой (по крайней мере, послераннемеловой) структурой. Его образование может быть связано с формированием блоков вращения на «плече» позднемезозойско-раннекайнозойского рифта моря Лаптевых или с транспрессионной зоной вдоль крупного сдвига того же возраста.

Совершенно иначе выглядит строение Анабаро-Ленского прогиба по нижним горизонтам. Так по отложениям верхнего протерозоя в его центральной части выделяется очень крупный и глубокий Хастахский прогиб. По всей видимости, он является северным продолжением рифейского Уджинского бассейна, протягивающегося в субмеридиональном направлении между Анабарским щитом и Оленекским поднятием Анабарской антеклизы. Как и для других бассейнов Сибирской платформы, для Анабаро-Ленского прогиба характерно резкое несовпадение структурных планов между рифейским и вендсреднепалеозойским комплексам. Это говорит о том, что коллизионные события конца рифея (байкальский

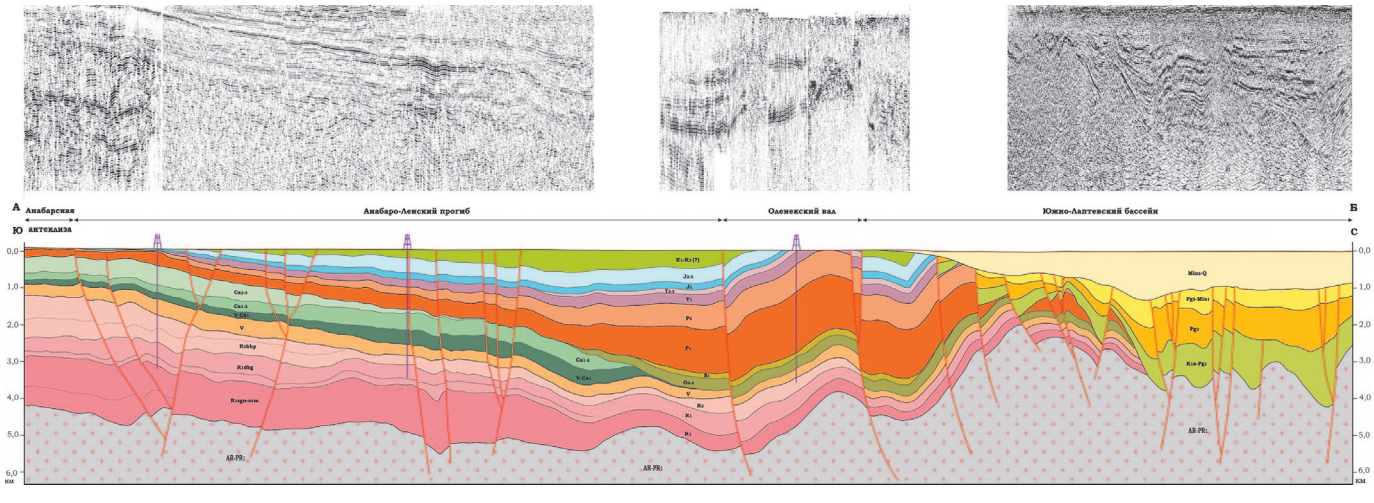


Рис. 3. Профильный разрез через Анабаро-Ленский прогиб и южную часть бассейна моря Лаптевых (по Frolov et al., 2015)

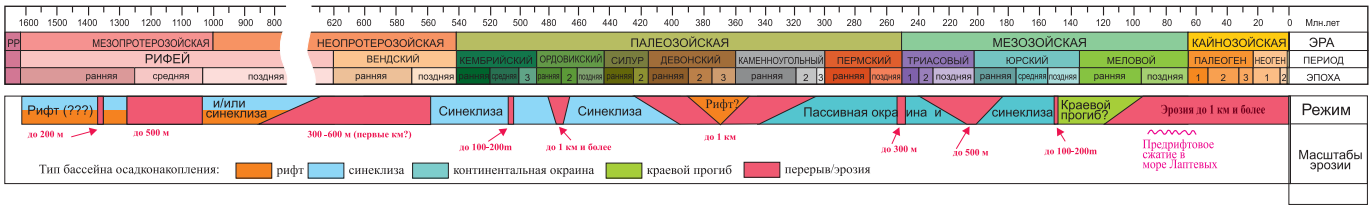


Рис. 4 Основные этапы геологической эволюции Анабаро-Ленского бассейна

тектоногенез) оказали влияние не только на южные и западные части кратона, но и на его северные районы.

Основные этапы геологического развития и осадочные комплексы

Рассматриваемый регион прошел очень длительную геологическую эволюцию (Рис. 4). Первый этап его развития пришелся на ***рифейское время*** и охватывает огромный промежуток времени в несколько сотен миллионов лет. Рифейские бассейны были крупными, с мощным терригенно-карбонатным выполнением. По всей видимости, в данном случае они были внутриконтинентальными, но их природа не совсем ясна. Предположение о рифтовом их происхождении не находит подтверждения в данных сейсморазведки. На региональных сейсмопрофилях нигде не видно характерных рифтовых структур – листрических сбросов и блоков вращения.

Наиболее полно отложения рифейского комплекса вскрыты скв. Бурская-3410. Они представлены нижним, средним и верхним отделами рифея. В основании разреза залегают терригенные отложения, которые далее сменяются водорослевыми доломитами, значительная часть которых формировалась в переходных (приливных) и мелководных обстановках осадконакопления.

Так, арымасская свита (304 м) среднего рифея характеризуется двучленным строением (Рис. 5). Нижняя подсвита сложена чередованием пестроцветных косослоистых песчаников мелкозернистых и алевролитов мелкозернистых, алевролитово-глинистых пород и аргиллитов с прослоями строматолитовых доломитов толщиной 1 м.

Верхняя подсвита сложена доломитами водорослевыми, кавернозными, неравномерно перекристаллизованными. Нередко водорослевые разности включают остаточное битуминозное вещество по периферии каверн (Рис. 6). Таким образом, в данном случае в качестве перспективных резервуаров рифея можно рассматривать не только кавернозные карбонатные разности, как в Юрубчено-Тохомской зоне, но и залегающие ниже песчано-алевролитовые толщи. Последние здесь, очевидно, не так сильно уплотнены, как более южных районах платформы (Туруханское поднятие, Камовский свод и др.).

В венде-палеозое территория Анабаро-Ленского прогиба представляла внутренний бассейн Сибирского континента.

Отложения ***венда*** описаны в пределах Оленекского поднятия в долинах рек Хорбусуонка, Хатысый и др., также вскрыты в пределах Анабаро-Ленского прогиба скважинами Бурская-3410, Хастахская-930, Усть-Оленекская-1.

В южной части Анабаро-Ленского прогиба вендские отложения вскрыты скв. Бурская-3410, где представлены туркутской свитой (мощность 208 м), которая сложена доломитами водорослевыми сероцветными с прослоями в своей нижней части доломитов глинистых и доломитовых мергелей (Шишкин, 1990; 1999).

В центральной части Лено-Анабарского прогиба отложения верхнего венда встречены в разрезе скважины Хастахская-930 (хастахская свита). Хастахская свита сложена чередованием пестроцветных песчаников, алевролитов, алевролитово-глинистых пород и аргиллитов с прослоями маломощных доломитов, в том числе глинистых.

Песчаники крупно- и среднезернистые олигомиктовые и мономинерального кварцевого состава, характеризуются средней и хорошей сортировкой обломочного материала (Рис. 7а). Алевролитово-глинистые и глинистые породы обладают тонкой горизонтальной и линзовидной текстурой (Рис. 7б). Вверх по разрезу появляются прослои

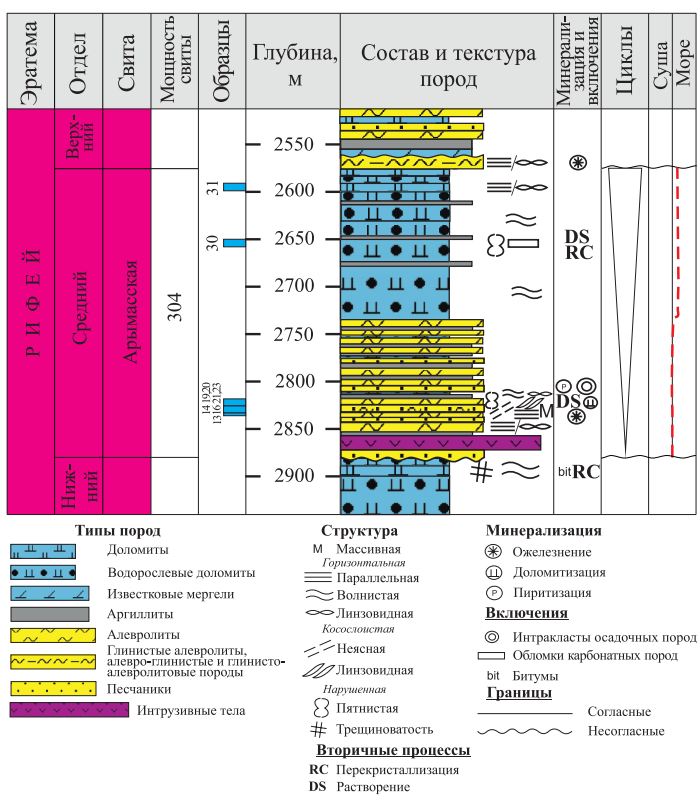


Рис. 5. Литологический разрез отложений среднего рифея (арымасская свита) скв. Бурская-3410

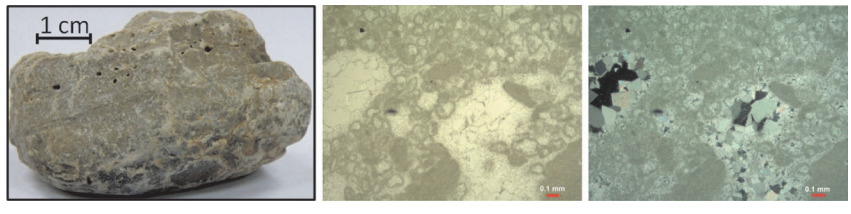


Рис. 6. Обр. 30: доломит водорослевый. (а) фото образца; (b) фото петрографического шлифа, скв. Бурская-3410; инт. 2650-2658 м

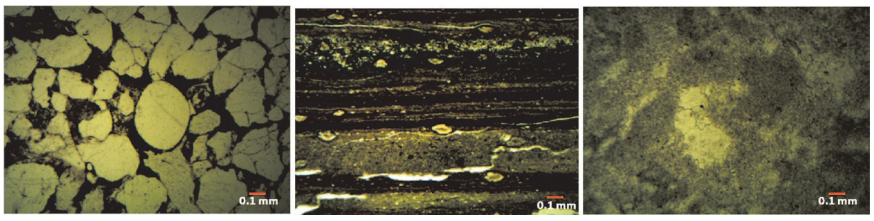


Рис. 7. Фото петрографических шлифов (скв. Хастахская-930): а – песчаник среднезернистый с железисто-доломитовым цементом, обр. 24, инт. 2854,4-2857,4 м; б – алевролитово-глинистый ритмит, обр. 9, инт. 3111,9-3117,8 м; в – доломит с реликтовой водорослевой структурой, обр. 30, 2776,4-2778,9 инт.

доломитов, среди которых встречаются единичные разности с реликтовой водорослевой структурой (Рис. 7в).

Как и в других частях Сибирской платформы вендские песчаники Анабаро-Ленского прогиба (особенно в его южной неглубокой части) могут оказаться, важным резервуаром для нефти и газа.

Отложения ***кембрийского комплекса*** в южной и центральной частях Анабаро-Ленского прогиба распространены повсеместно, вскрыты скважинами Бурская-3410, Хастахская-930 и Чарчикская-1, где представлены всеми отделами, согласно залегают на породах нижележащих комплексов.

Здесь в основании разреза выделяется кессюсинская свита, возраст которой некоторые авторы определяют как поздневендско-нижнекембрийский (Граусман, 1995). В южной части Анабаро-Ленского прогиба отложения свиты вскрыты скв. Бурская-3410, где их толщина составляет 469 м. Представлены переслаиванием серых, зелено-серых, бурых песчаников разнозернистых, а также алевролитов с маломощными прослоями глинистых пород. В ее средней части преобладают пестроцветные алевролиты и аргиллиты с редкими прослоями мелкозернистых песчаников и доломитовых мергелей, а в верхней части встречены косослоистые сероцветные разно- и мелкозернистые песчаники с маломощными прослоями доломитов глинистых и терригенно-карбонатных пород с включениями оолитов. Песчаники имеют олигомиктовый состав, содержат зерна переотложенного хорошо окатанного глауконита, обладают средней и хорошей сортировкой обломочного материала.

В самой верхней части свиты (12 м) описаны известняки водорослевые с редкими прослоями песчаников.

В скв. Бурская-3410 еркетская свита сложена известняками глинистыми с маломощными прослоями аргиллитов и доломитовых мергелей. В скв. Чарчикская-1 свита представлена светло-серыми водорослевыми доломитами порово-кавернозными с прослоями оолитовых разностей.

Вышележащая часть кембрийского комплекса на различных стратиграфических уровнях включает биогенные постройки. Так, в скв. Бурская-3410 в данном стратиграфическом интервале описана толща (526 м), которая сложена преимущественно светло-серыми массивными доломитами водорослевыми, что позволило некоторым исследователям предполагать о рифогенной природе этой толщи, а саму толщу выделить как самостоятельное литостратиграфическое подразделение – бурскую свиту (Шишкин, 1999) (Рис. 8). Такие биогенные постройки можно рассматривать как возможные природные резервуары нефти и газа.

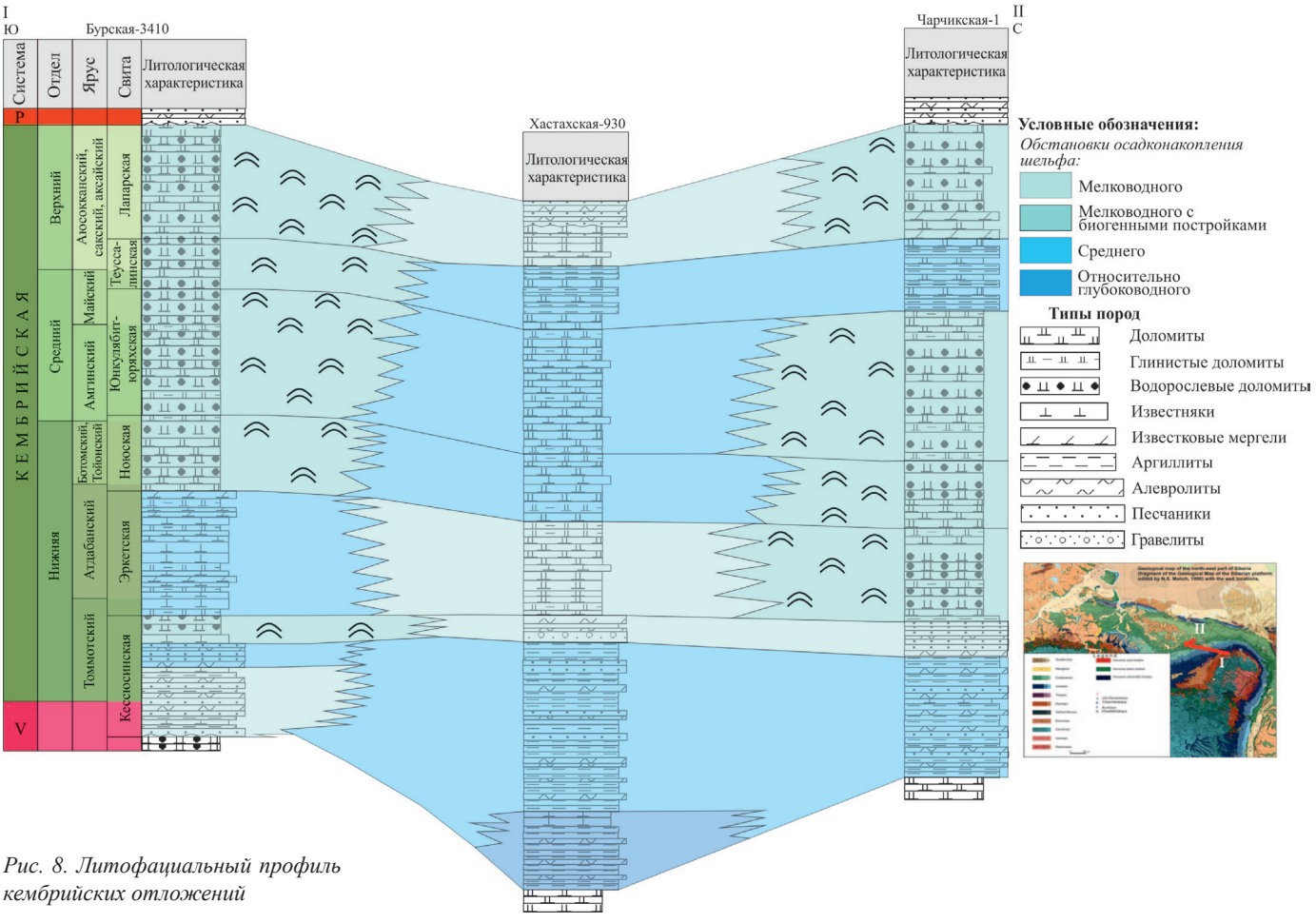


Рис. 8. Литофациальный профиль кембрийских отложений

Ордовикские и силурийские отложения в Анабаро-Ленском прогибе известны только на крайнем северо-востоке прогиба в скважине Усть-Оленекская-237. Возможно, данный район располагался в периферической области бассейна осадконакопления, основные части которого находились восточнее.

Начиная с девонского времени (а, возможно, и с начала палеозоя), к востоку от рассматриваемой области сформировалась пассивная окраина Сибирского палеоконтинента. Это, по всей видимости, определило характер осадконакопления на востоке Анабаро-Ленского прогиба.

Основной по объему выполнения в позднепалеозойской толщей Анабаро-Ленского прогиба является пермская.

На протяжении всего ***пермского периода*** рассматриваемый бассейн седиментации был обрамлен на юге

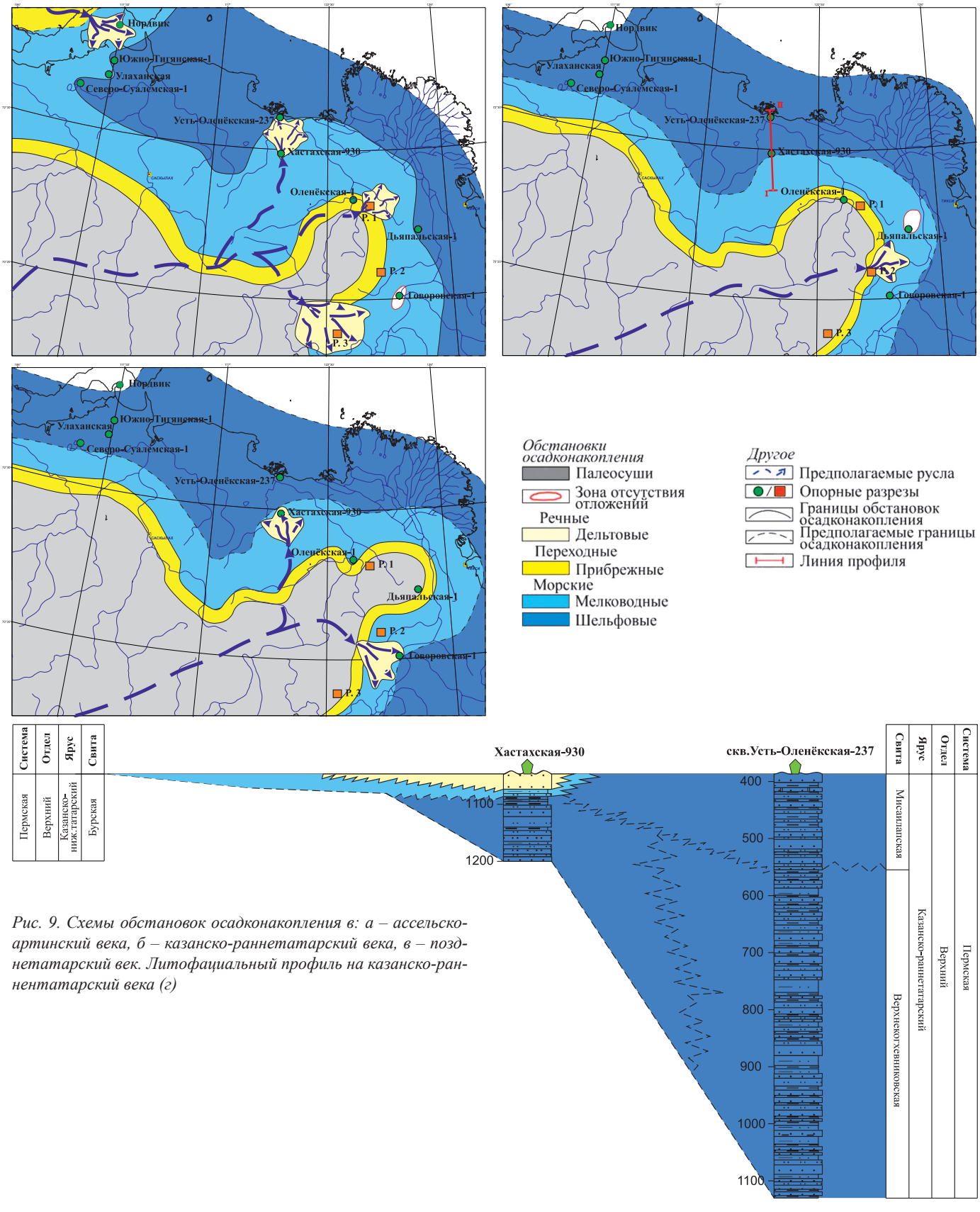


Рис. 9. Схемы обстановок осадконакопления в: а – ассельско-артинский века, б – казанско-раннетатарский века, в – позднетатарский век. Литофациальный профиль на казанско-раннетатарский века (г)

такими источниками сноса как Анабарская антеклиза и Оленекский свод, а на северо-западе – Таймырским поднятием. Терригенный материал поступал в бассейн речными артериями, которые разгружались в их долинах и дельтах, а далее в пределах морского бассейна, который располагался на севере, северо-востоке территории (Рис. 9а).

Грубообломочные и песчаные накопления прибрежно-морского и дельтового осадконакопления часто обладают битумо- и нефтенасыщением, содержат многочисленные углефицированные растительные остатки и детрит (Рис. 10а, рис. 10б).

Позднепермская эпоха начинается с резкого усиления общего нисходящего движения бассейна седиментации и расширения площади морского осадконакопления, сокращения и изменения конфигурации Анабаро-Оленекской палеосуши, уменьшения объемов речного стока. Основным источником сноса в это время является Оленекское поднятие, к склонам которого приурочены единичные дельтовые конуса выноса в его восточной части (Рис. 9б, г).

Конец позднепермской эпохи сопряжен с началом регрессии морского бассейна, с чем связано увеличение объемов речного стока, при этом основным источником сноса в это время являлась Анабаро-Оленекская палеосуша (Рис. 9в).

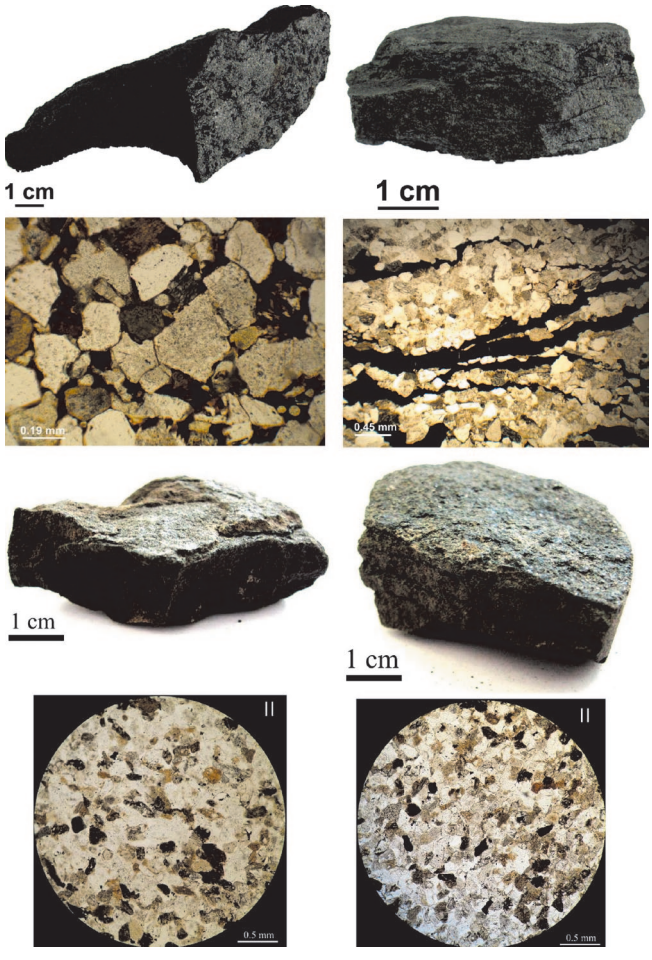


Рис. 10. Фото макро образца и петрографического шлифа: а – песчаник крупно-среднезернистый, обр. О-6-10, скв. Оленекская-1; б – песчаник средне-мелкозернистый, обр. О-6.6, скв. Оленекская-1; в – песчаник мелкозернистый, обр. ЮТГ-12, Южно-Тигянская-1; инт. 1544-1558,8 м; г – алевролит крупнозернистый, обр. ЮТГ-9, скв. Южно-Тигянская-1, инт. 1589-1595,6 м

Отложения подводных дельтовых систем описаны на Южно-Тигянской площади, где представлены неравномерным чередованием нефтенасыщенных песчаников, алевролитов с прослоями алевролитово-глинистых пород. Песчаники мелкозернистые буровато-коричневого цвета обладают волнистой и косослоистой текстурой, нередко включают полуокатанные интракласты алевролитово-глинистых пород (Рис. 10в).

Алевролиты крупнозернистые буровато-серые, волнисто- и косоволнисто-слоистые, содержат УРД, обладают хорошей сортировкой обломочного материала (Рис. 10г).

Эффективность верхнепалеозойско-нижнемезозойских нефтяной системы севера Сибирской платформы подтверждена не только обилием нефте- и газопроявлений в скважинах, но и наличием гигантских битумных полей, в особенности Оленекского, ресурсы которого могут достигать 2 млрд. т. Тем не менее значительных проявлений нефти и газа здесь пока не выявлено.

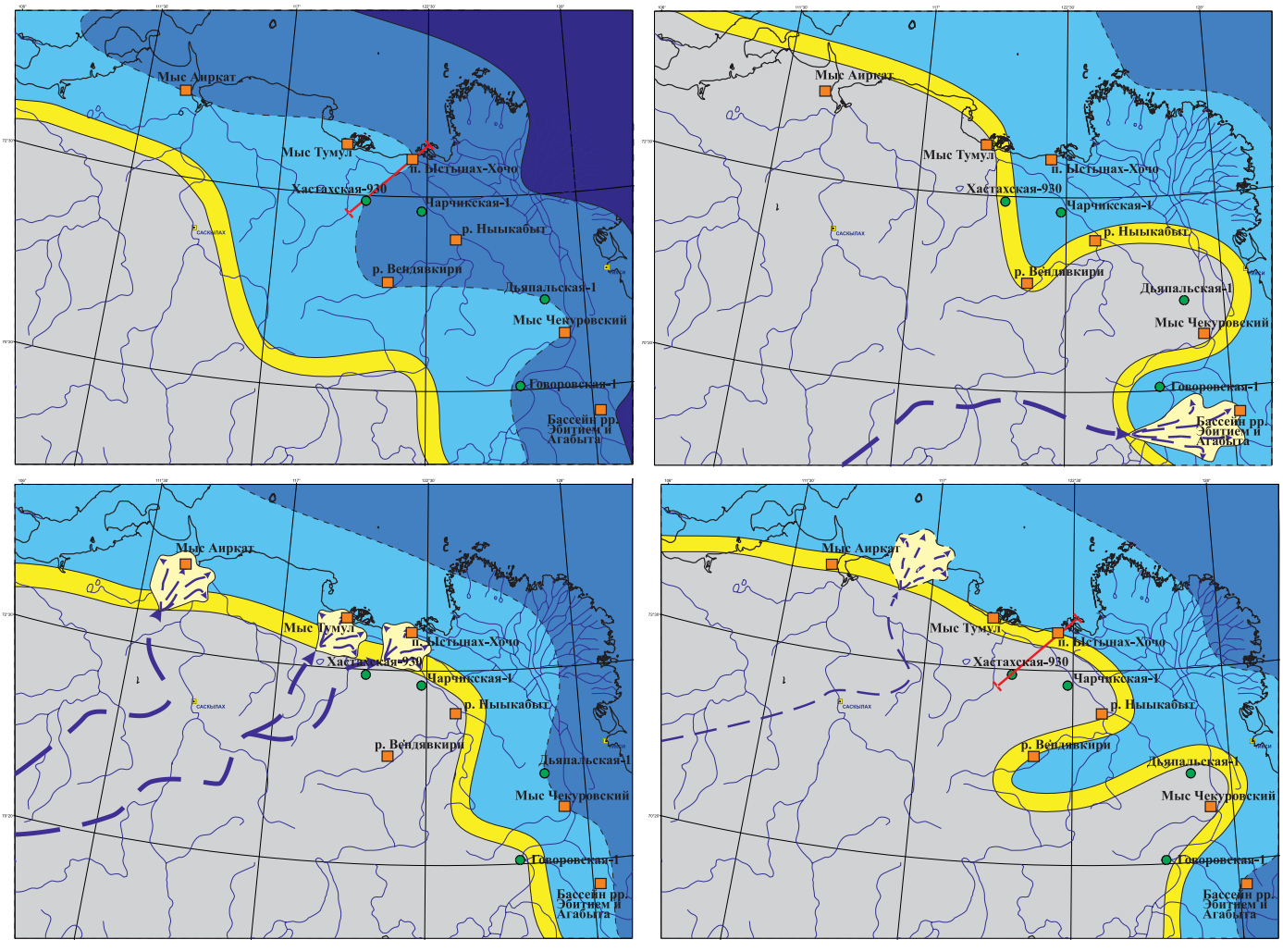
Первым объяснением данного факта может быть сложное строение пермских резервуаров этого региона. Резервуары хорошего качества здесь приурочены к отложениям прибрежной зоны (ныне периферия бассейна, где ухудшены условия сохранности) или к дельтовым конусам. Эти дельты здесь имеют значительно меньшие размеры, чем в Вилюйской синеклизе и приурочены к регрессивным этапам циклов седиментации (кунгурский-уфимский века, позднетатарское время). Большую часть пермского бассейна седиментации занимала шельфовая зона, где количество и мощность песчаных пластов уменьшается и в тоже время заметно увеличивается количество первичного глинистого и карбонатного цементов. Таким образом, коллектор здесь характеризуется заметно более дискретным распространением, чем в южной части Хатангско-Вилюйской провинции.

В первой половине мезозоя характер осадконакопления в рассматриваемой области в целом изменился мало. В раннем ***триасе*** (индский век) на большей территории исследования располагались обширная Анабаро-Оленекская палеосуша, в пределах которой в различных ее частях установлены коры выветривания, представленные пестроцветными глинами (Каплан, 1976). На рубеже перми и триаса вулканическая активность отразилась на составе основных породообразующих комплексов, где значительную роль преобрели вулканогенно-осадочные отложения. Палеосуша окаймлялась полосой прибрежных отложений, которые далее сменялись мелководными (Рис. 11а).

В начале оленекского века площадь Анабаро-Оленекской палеосуши сократилась, а в пределах Анабаро-Ленского бассейна седиментации накапливались глинистые и карбонатно-глинистые отложения (Рис. 11б, рис. 11д).

В позднем триасе (карнийско-ранненорийский и средненорийский-рэтский века) наблюдается увеличение площади палеосуши, а также активизация деятельности речных систем (Рис. 11 в, г).

Особенностью развития Анабаро-Ленского седиментационного бассейна в ***юрский период*** являются периодические значительные повышения уровня морского бассейна, что привело к сокращению площади Анабаро-Оленекской палеосуши, преобладающему накоплению глинистых, битуминозно-карбонатно-глинистых пород смешанного состава (Девятов, 1983) (Рис. 12а, в; рис. 12б, г).



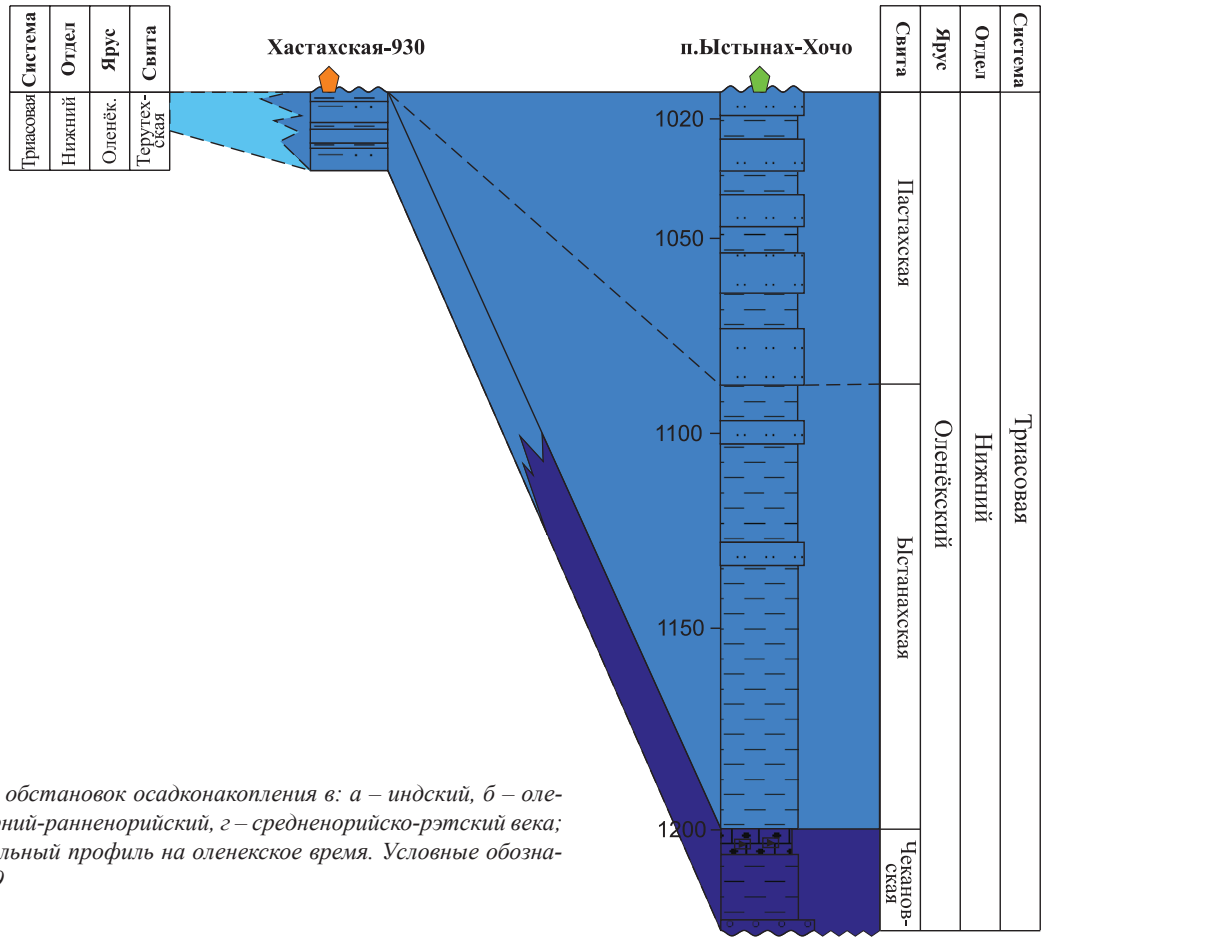


Рис. 11. Схемы обстановок осадконакопления в: а – индский, б – оленекский, в – карний-ранненорийский, г – средненорийско-рэтский века; д – литофациальный профиль на оленекское время. Условные обозначения см. рис. 9

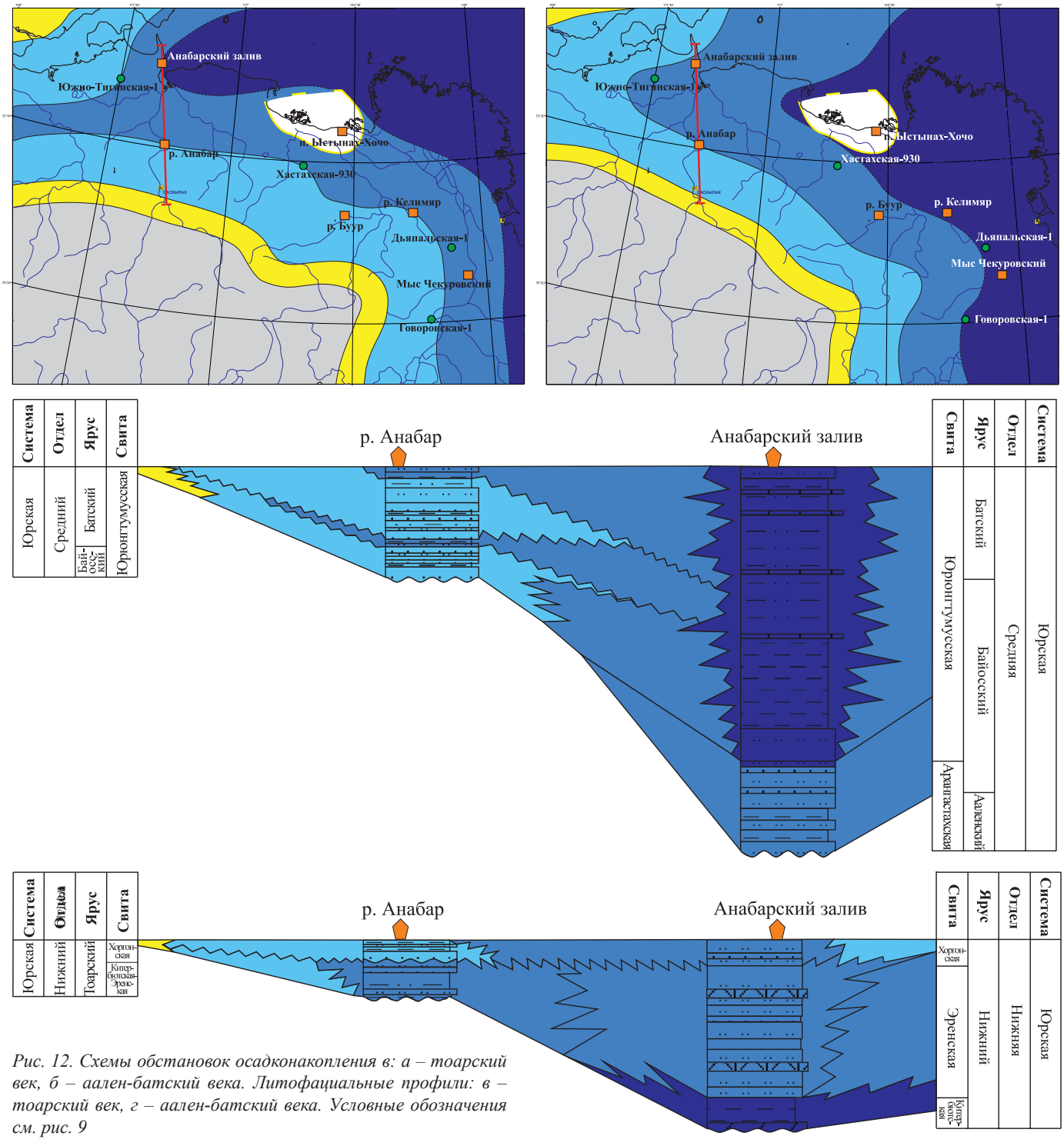


Рис. 12. Схемы обстановок осадконакопления в: а – тоарский век, б – аален-батский века. Литофациальные профили: в – тоарский век, г – аален-батский века. Условные обозначения см. рис. 9

В конце юры – начале мела на месте восточной пассивной окраины образовался Верхоянский складчатый пояс, когда сформировавшийся к середине юры Колымо-Омолойский супертеррейн столкнулся с восточным (в современной ориентировке) краем континента. Терригенные отложения ***нижнего мела*** венчают разрез осадочного чехла Анабаро-Ленского прогиба. Они накапливались преимущественно в континентальных обстановках

Мезозойские отложения Анабаро-Ленского прогиба слагают верхнюю часть разреза его осадочного чехла. Они не имеют таких значительных мощностей, как в некоторых других периферических впадинах Сибирской платформы (Енисей-Хатангский прогиб, Вилюйская синеклиза и Предверхоянский прогиб). Поэтому, несмотря на то, что они включают в свой состав природные резервуары хорошего качества, перспективы их нефтегазоносности нами оцениваются невысоко.

Источники нефти и газа

Обогащённые ОВ отложения в пределах Анабаро-Ленского прогиба встречены во всём стратиграфическом диапазоне осадочного выполнения. По объему и качеству материнских толщ на первом месте здесь находятся пермские отложения. Помимо них в качестве потенциальных нефтегазоматеринских отложений также могут рассматриваются аргиллиты рифея и венда. К сожалению, данные исследований керна скважин, пробуренных в Анабаро-Ленском прогибе, не показывают признаков наличия

здесь отложений нижне-среднекембрийской куонамской горючесланцевой формации – самой богатой органическим веществом толщи севера Сибирской платформы. По всей видимости, область ее рапространения находится юго-восточнее рассматриваемой территории. Кроме того, в разрезе мезозоя ряд исследователей выделяют обогащённые сапропелевым ОВ до 2,7% аргиллиты триаса, и до 1,5% юрско-неокомские с ОВ смешанного гумусово-сапропелевого состава. Однако в пределах изучаемой территории повсеместно ОВ мезозойских отложений является незрелым.

По результатам пиролиза образцов керна скважин Анабаро-Ленского прогиба лучшими НМТ являются отложения пермской системы. При этом в допермском разрезе были отмечены интервалы нефтематеринских отложений, характеризующиеся высоким и очень высоким генерационным потенциалом НМТ (Рис 13). В первую очередь к таковым относятся отложения рифея, ОВ которых реализовало свой потенциал в разной степени. В Усть-Оленёкской скважине ОВ рифея является перезрелым, тогда как в разрезах Хастахской и Бурской скважин температуры пиролиза Tmax=443-448°C отвечают главной зоне нефтеобразования. Содержание органического углерода в аргиллитах рифея достигает 0,8% в интервалах, охарактеризованных керном, в Хастахской скважине и до 1% и более в Бурской. Для битумоидов рифея характерно одномодальное распределение нормальных алканов полного ряда с длиной цепи атомов углерода от n-C_{11} до n-C_{35} с максимумом в относительно низкомолекулярной области. Характерно отсутствие изоалканов – пристан (i-C_{19}) и фитан (i-C_{20}) содержатся в крайне незначительных концентрациях по сравнению с соответствующими им нормальными алканами (n-C_{17} и n-C_{18}) (Рис. 14). Следует отметить, что подобный облик характерен для ОВ рифея и нефтей Камовского свода Байкитской антеклизы.

В составе битумов Оленекского месторождения не обнаружено биометок, указывающих на вклад древнего ОВ. Однако ряд исследователей считает, что нафтиды Оленекского месторождения имеют полигенный характер, чем объясняют широкий диапазон значений изотопного состава углерода от -35 до -23‰. В качестве вещественных признаков вертикальной миграции УВ в верхнедокембрийском и кембрийском разрезах рассматриваются трещины, заполненные кальцитом и вязким битумом, которые прослеживаются как в естественных разрезах, так и в керне Хастахской и Чарчикской скважин. В керне отложений пермской системы, отобранном на глубине 1498-1510 м в результате бурения Чарчикской скважины, в битумоиде были идентифицированы биомаркеры, типичные для древних нефтей Сибирской платформы – 12- и 13-метил-алканы (Сафронов и др., 2002).

Особенности УВ состава нафтидов Хатангской седловины и Анабаро-Ленского прогиба позволяют предполагать существование для них единого источника. Отличительная черта разновозрастных нефтей (из отложений перми, триаса и юры) Хатангской седловины – высокие отношения адиантан/гопан (Kashirtcev et al., 2010). Необычно высоким отношением 25-норадиантана C_{28} к 25-норгопану C_{29} деметилированных гопанов (обусловленным первичными особенностями распределения регулярных гопанов) характеризуются высокобиодеградированные битумы Оленекского месторождения (Каширцев и др., 2010). Подобные соотношения весьма редки для нефтей всего мира, их можно рассматривать в качестве определенного

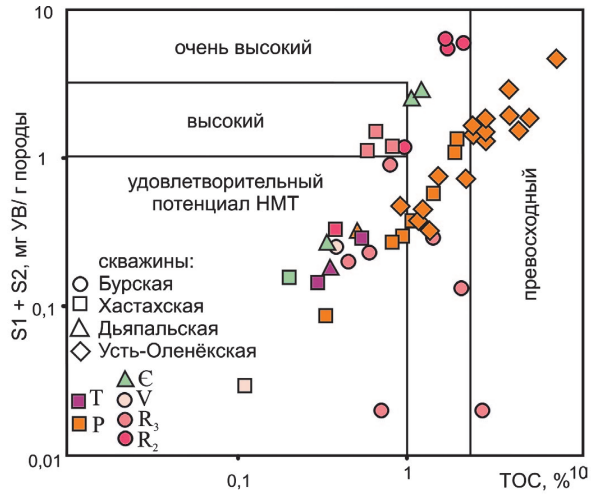


Рис. 13. Характеристика ОВ Анабаро-Ленского прогиба по данным пиролиза

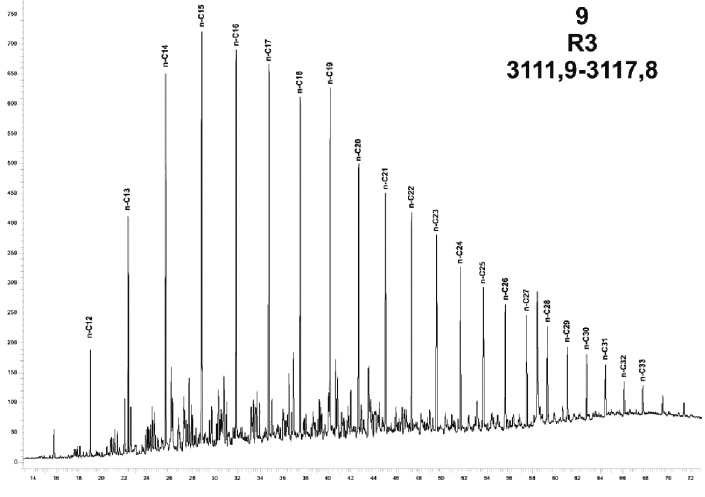


Рис. 14. Распределение алканов в битумоиде обогащённых ОВ отложений рифея Хастахской скважины

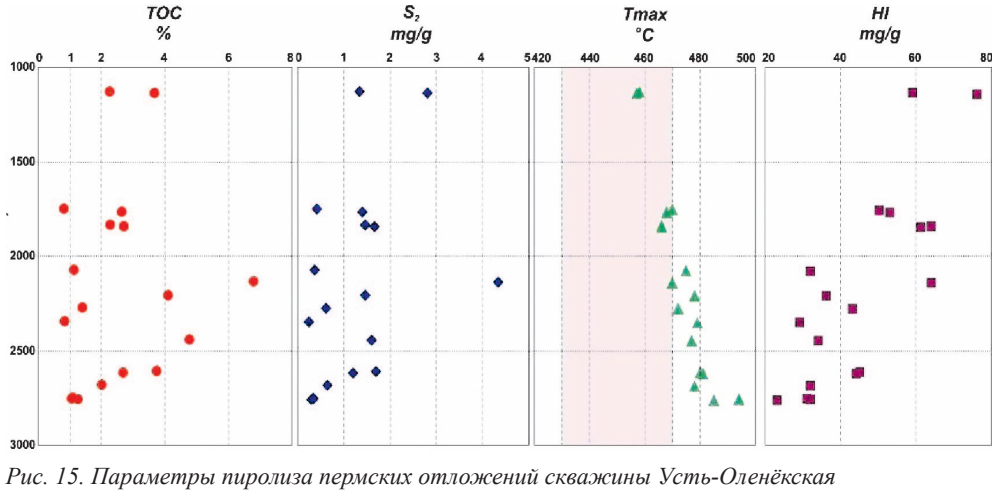


Рис. 15. Параметры пиролиза пермских отложений скважины Усть-Оленёкская

геохимического индикатора пермских нафтидов этого региона (Каширцев и др., 1993).

Пермский разрез наиболее охарактеризован в скважине Усть-Оленекская-2370 (Рис. 15). Зафиксированы НМТ, обогащенные ОВ с высоким начальным нефтегенерационным потенциалом, мощность этих толщ может достигать нескольких десятков метров (Бакай и др., 2016). Катагенез ОВ оценивается в конец главной зоны нефтеобразования – начало главной зоны газообразования ($МК_{3-4}$). Остаточные значения ТОС в алевролитово-глинистых породах пермской системы составляют 2-3%, в более глинистых разностях достигая 4-6%.

Высокий исходный генерационный потенциал пермских отложений, высокая степень катагенетической преобразованности ОВ, биомаркерный состав нефтей, указывающий на единый источник УВ палеозойского и мезозойского комплекса пород, могут указывать, что главную роль в качестве генератора углеводородов в пределах континентального обрамления моря Лаптевых играли пермские отложения.

Выводы

Имеющиеся данные позволяют предположить, что на территории Анабаро-Ленского прогиба могли получить развитие несколько эффективных углеводородных систем. Наиболее древними из них являются верхнепротерозойские: рифейская и вендская. Обе они содержат как природные резервуары приемлемого качества, так и материнские толщи. Данные отложения могут оказаться продуктивными особенно в южных периферических частях прогиба. Однако, пока свидетельств «работы» протерозойских производящих толщах не выявлено в составе основных нефте- и битумопроявлений региона.

Наиболее перспективным, на наш взгляд, является пермский комплекс. В нем имеются материнские толщи хорошего качества, природные резервуары выявлены на нескольких уровнях и именно с ними связано подавляющее большинство углеводородных проявлений. Сложности при поисках нефти и газа здесь могут возникнуть из-за сложного строения коллекторов, обусловленных обстановками седиментации в переходной зоне суша-море. Еще одной проблемой может быть выбор первоочередных поисковых объектов. Дело в том, что некоторые высокоамплитудные антиклинальные структуры (например, в пределах Оленекского вала) имеют весьма позднее образование (не ранее второй половины мела) и, возможно сформировались уже после окончания генерационных и миграционных процессов (Ботнева, Фролов, 1995). Интерес в этой связи могут представлять структуры раннего заложения (в том числе погребенные) и неантиклинальные объекты, по всей видимости, широко распространенные в условиях сильной литологической неоднородности резервуаров. К сожалению, опоискование таких объектов потребует больших объемов работ при сохраняющихся довольно высоких рисках.

Как нам представляется, на севере Сибирской платформы в палеозое и первой половине мезозоя осадочный бассейн имел значительно более крупные, чем современные размеры. Возможно, он включал не только Анабаро-Ленский прогиб, но и прилегающие части современного моря. Однако во второй половине мела его южная северная часть была приподнята и эродирована. Вероятно, этот размыв предшествовал позднемел-палеогеновому рифтингу в море Лаптевых. Свидетельством этому может служить срезание дорифтовых толщ синрифтовыми образованиями на некоторых морских сейсмических профилях. Интересно, что подобный характер границ (в данном случае, срезание палеозойских комплексов мезозойскими образованиями) наблюдается также на западе и северо-западе Сибирской платформы (соответственно с Западно-Сибирским бассейном и Енисей-Хатангским прогибом). Таким образом, все перечисленные углеводородные системы, а также и мезозойские, малоперспективные на суше, могут оказаться весьма интересными и в южной части моря Лаптевых.

Благодарности

Авторы благодарят за помощь в организации полевых работ и сборе каменного материала А.В. Прокопьева (ИГАБМ СО РАН), В.Б. Ершову и А.К. Худолея (Институт Наук о Земле СПбГУ).

Литература

Бакай Е.А., Смирнова М.Е., Коробова Н.И., Надежкин Д.В. Литолого-геохимическая характеристика пермского нефтегазоносного комплекса Лено-Анабарского прогиба (на примере скважины Усть-Оленекская-2370). *Вестник Московского университета*. Серия 4: Геология. 2016. № 1. С. 71-81.

Ботнева Т.А., Фролов С.В. Условия образования углеводородных скоплений в осадочном чехле Енисей-Ленской системы прогибов. *Геология нефти и газа*. 1995. № 5. С. 36-41.

Граусман В.В. Отложения верхнего докембрия Оленекского поднятия по материалам глубокого бурения. Тихоокеан. *Геология*. 1995. Т. 14. № 4. С. 133-136.

Девятов В.П. Условия осадконакопления в тоарском веке на востоке Сибирской платформы. В кн.: Новые данные по стратиграфии и палеогеографии нефтегазоносных бассейнов Сибири. Новосибирск. 1983. С. 33-41.

Калинко М.К. Результаты поисков и разведки нефти и газа в районе Анабаро-Хатангского междуречья (Нордвикский район). В кн.: *Нефтегазоносность севера Сибири*. Л. 1958. С. 134-170.

Каплан М.Е. Литология морских мезозойских отложений севера Восточной Сибири. Л: Недра. 1976. 230 с.

Каширцев В.А., Филп Р.П., Аллен Дж. и др. Биодеградация биомаркеров в природных битумах Оленекского поднятия. *Геология и геофизика*. 1993. Т. 34. № 6. С. 44-56.

Каширцев В.А., Конторович А.Э., Иванов В.Л.,Сафронов А.Ф. Месторождения природных битумов на северо-востоке Сибирской платформы (Российский сектор Арктики). *Геология и геофизика*. 2010. Т. 51. № 1. С. 93-105.

Сафронов А.Ф., Ситников В.С., Каширцев В.А., Микуленко К.И. Перспективы нефтегазоносности арктической части территории Западной Якутии. Российская Арктика. Геологическая история. Минерагения. Геоэкология. СПб: ВНИИокеангеология. 2002. С. 347-353.

Тектоника, геодинамика и металлогения Республики Саха (Якутия). М: МАИК «Наука/Интерпериодика». 2001. 571 с.

Фролов С.В. Историко-генетические предпосылки формирования зон нефтегазонакопления в пределах Енисей-Ленской системы прогибов. *Автореф. канд. дисс.* М. 1990. 16 с

Фролов С.В., Карнюшина Е.Е., Коробова Н.И., Бакай Е.А., Крылов О.В., Ахманов Г.Г., Жукова Е.В. Север Восточной Сибири: геология, нефтегазоносность и обстановки седиментации вендско-кембрийских формаций. М: ООО «Геоинформмарк». 2014.

Шишкин Б.Б. Стратиграфия докембрийских отложений Западной Якутии по материалам глубокого бурения. *Стратиграфия и палеонтология докембрия и фанерозоя Сибири*. Новосибирск. 1990. С. 38-46.

Шишкин Б.Б., Исаев А.В. Особенности строения докембрийских и кембрийских отложений северо-востока Сибирской платформы. *Геология и геофизика*. 1999. Т. 40. № 12. С. 1795-1807.

Drachev S.S., Savostin L.A., Groshev V.G., and Bruni I.E. Structure and geology of the continental shelf of the Laptev Sea. Eastern Russian Arctic. *Tectonophysics*. 1998. V. 298. Pp. 357-393.

Kashirtsev V.A., Dzyuba O.S., Shurygin B.N., Kim N.S. Showings of Oil in Jurassic Section of Laptev Sea Coast (Siberian Arctic). Earth science frontiers. *Short pap. the 8th Intern. Congr. on the Jurassic System*. Sichuan, China. 2010. Vol. 17. Spec. Is. Pp. 384-385.

Frolov S.V. Akhmanov G.G., Bakay E.A., Lubnina N.V., Korobova N.I., Karnyushina E.E., Kozlova E.V. Meso-Neoproterozoic petroleum systems of the Eastern Siberian sedimentary basins., Precambrian Research. 2015. V. 259. Pp. 95-113.

Сведения об авторах

Сергей Владимирович Фролов – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1

Тел: + 7(495)939 30 22, e-mail: serfgeo@yandex.ru

Наталья Ивановна Коробова – ассистент кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1

Елена Андреевна Бакай – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1

Надежда Сергеевна Курдина – аспирант кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1

Статья поступила в редакцию 19.03.2017;
Принята к публикации 21.04.2017; Опубликована 20.05.2017

Hydrocarbon systems and oil and gas potential prospects of the Anabar-Lena trough

S.V. Frolov, N.I. Korobova, E.A. Bakay, N.S. Kurdina
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. The Anabar-Lena trough is one of the least geologically studied areas on the Siberian Platform. A few wells drilled here have not yet revealed direct signs of its oil bearing. However, indirect data indicate that this region can be very prospective. This is proved by the proven oil and gas potential of the adjacent area (oil in the Khatanga saddle, bitumen of the Olenek field) and a thick sedimentary cover in the stratigraphic range from the Riphean to the Lower Cretaceous. The conducted studies show that several hydrocarbon systems are present in the section, which may be associated with the discovery in the future of industrial oil and gas fields. The most ancient of them are Upper Proterozoic and Lower Paleozoic – Riphean, Vendian and Cambrian. There are several levels enriched with organic matter in these deposits. As reservoirs can be sandy-silty units and organogenic carbonates as well. The most prospective is the Permian complex, its thickness can reach 2-3 km. It contains source rocks of good quality.

The biomarker analysis shows that hydrocarbon composition of the Permian organic matter is similar to the oils and bitumens of the existing oil fields and showings in this complex. Permian reservoirs have a complex structure with an abundance of wedging and replacement zones, which was predetermined by a frequent change in sedimentation environments.

Keywords: Anabar-Lena trough, Siberian platform, hydrocarbon systems, reservoirs, oil and gas source rocks

Acknowledgments

The authors are thankful for help in organizing the field work and collecting the stone material to A.V. Prokopiev (IGABM SB RAS), V.B. Ershov and A.K. Khudoley (Institute of Earth Sciences of St. Petersburg State University).

For citation: Frolov S.V., Korobova N.I., Bakay E.A., Kurdina N.S. Hydrocarbon systems and oil and gas potential prospects of the Anabar-Lena trough. *Georesursy = Georesources*. 2017. Special issue. Part 2. Pp. 173-185. DOI: http://doi.org/10.18599/grs.19.18

References

Bakay E.A., Smirnova M.E., Korobova N.I., Nadezhkin D.V. Lithological and geochemical characteristics of the Perm oil and gas bearing complex of the Lena-Anabar trough (on the example of the Ust-Olenek-2370 well). *Moscow University Geology Bulletin.* 2016. No. 1. Pp. 71-81. (In Russ.)

Botneva T.A., Frolov S.V. Conditions for the formation of hydrocarbon accumulations in the sedimentary cover of the Yenisei-Lena system of deflections. *Geologiya nefti i gaza = The geology of oil and gas*. 1995. No. 5. Pp. 36-41. (In Russ.)

Drachev S.S., Savostin L.A., Groshev V.G., and Bruni I.E. Structure and geology of the continental shelf of the Laptev Sea. Eastern Russian Arctic. *Tectonophysics*. 1998. V. 298. Pp. 357-393.

Frolov S.V. Akhmanov G.G., Bakay E.A., Lubnina N.V., Korobova N.I., Karnyushina E.E., Kozlova E.V. Meso-Neoproterozoic petroleum systems of the Eastern Siberian sedimentary basins., Precambrian Research. 2015. V. 259. Pp. 95-113.

Frolov S.V. Historical and genetic preconditions for the formation of oil and gas accumulation zones within the Yenisei-Lena system of deflections. *Avtoref. Diss. kand. geol.-min. nauk* [Abstract Cand. geol. and min. sci. diss.]. Moscow. 1990. 16 p. (In Russ.)

Frolov S.V., Karnyushina E.E., Korobova N.I., Bakay E.A., Krylov O.V., Ahmanov G.G., Zhukova E.V. Sever Vostochnoy Sibiri: geologiya, neftegazonosnost' i obstanovki sedimentacii vendsko-kembriyskih formaciy [North Eastern Siberia: geology, oil and gas content and sedimentation conditions of the Vendian-Cambrian formations]. Moscow: OOO «Geoinformmark». 2014. (In Russ.)

Grausman V.V. Deposits of the Upper Precambrian of the Olenek Uplift from deep drilling materials. The Pacific. *Geologiya = Geology*. 1995. V. 14. No. 4. Pp. 133-136. (In Russ.)

Devjatov V.P. Sedimentation environment in the Toarian age in the east of the Siberian platform. V kn.: *Novye dannye po stratigrafii i paleogeografii neftegazonosnyh bassejnov Sibiri* [In book: New data on the stratigraphy and paleogeography of the oil and gas-bearing basins of Siberia]. Novosibirsk. 1983. Pp. 33-41. (In Russ.)

Kalinko M.K. The results of prospecting and exploration of oil and gas in the Anabar-Khatanga interfluve area (Nordvik region). V kn.: *Neftegazonosnost' severa Sibiri* [In book: Oil and gas content of the North Siberia]. Leningrad. 1958. Pp. 134-170. (In Russ.)

Kaplan M.E. Litologiya morskih mezozoyskih otlozheniy severa Vostochnoy Sibiri [Lithology of marine Mesozoic deposits in the north of Eastern Siberia]. Leningrad: Nedra Publ. 1976. 230 p. (In Russ.)

Kashircev V.A., Filp R.P., Allen Dzh. et al. Biodegradation of biomarkers in natural bitumen of the Olenek Uplift. *Geologiya i geofizika = Geology and geophysics*. 1993. V. 34. No. 6. Pp. 44-56. (In Russ.)

Kashircev V.A., Kontorovich A.Je., Ivanov V.L.,Safronov A.F. Natural bitumen fields in the northeast of the Siberian platform (the Russian sector of the Arctic). *Geologiya i geofizika = Geology and geophysics*. 2010. V. 51. No. 1. Pp. 93-105. (In Russ.)

Kashirtsev V.A., Dzyuba O.S., Shurygin B.N., Kim N.S. Showings of Oil in Jurassic Section of Laptev Sea Coast (Siberian Arctic). Earth science frontiers. *Short pap. the 8th Intern. Congr. on the Jurassic System*. Sichuan, China. 2010. Vol. 17. Spec. Is. Pp. 384-385.

Safronov A.F., Sitnikov V.S., Kashircev V.A., Mikulenko K.I. Prospects of oil and gas potential of the Arctic part of the territory of Western Yakutia. The Russian Arctic. *Geologicheskaya istoriya. Minerageniya. Geoekologiya* [Geological history. Minerageny. Geoecology]. 2002. Pp. 347-353. (In Russ.)

Tektonika, geodinamika i metallogeniya Respubliki Saha (Jakutiya) [Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Republic of Sakha (Yakutia)]. Moscow: MAIK «Nauka/Interperiodika». 2001. 571 p. (In Russ.)

Shishkin B.B. Stratigraphy of Precambrian deposits of Western Yakutia based on deep drilling. *Stratigrafiya i paleontologiya dokembriya i fanerozoya Sibiri* [Stratigraphy and paleontology of the Precambrian and Phanerozoic of Siberia]. Novosibirsk. 1990. Pp. 38-46. (In Russ.)

Shishkin B.B., Isaev A.V. Features of the structure of the Precambrian and Cambrian deposits of the northeast of the Siberian platform. *Geologiya i geofizika = Geology and geophysics*. 1999. V. 40. No. 12. Pp. 1795-1807. (In Russ.)

About the Authors

Sergey V. Frolov – PhD in Geology and Mineralogy, Associate Professor of the Petroleum Geology Department
Lomonosov Moscow State University
Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1
Phone: + 7(495)939 30 22
e-mail: serfgeo@yandex.ru

Natalia I. Korobova – Assistant Professor, Petroleun Geology Department
Lomonosov Moscow State University
Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1

Elena A. Bakay – PhD in Geology and Mineralogy, Senior Researcher of the Petroleum Geology Department
Lomonosov Moscow State University
Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1

Nadezha S. Kurdina – PhD student of the Petroleum Geology Department
Lomonosov Moscow State University
Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1

Manuscript received 19 March 2017;
Accepted 21 April 2017;
Published 20 May 2017