

УДК 553.98(571.5)

DOI 10.31087/0016-7894-2021-6-25-36

Перспективы нефтегазоносности осадочного чехла и прогноз ловушек углеводородов в северных и центральных районах Предверхоянского краевого прогиба

© 2021 г. | Л.Ф. Найденев

Новосибирский филиал ФГБУ «ВНИГНИ», Новосибирск, Россия; naydenov@vnigni.ru

Поступила 25.10.2021 г.

Доработана 03.11.2021 г.

Принята к печати 15.11.2021 г.

Ключевые слова: *Предверхоянский краевой прогиб; ловушка; перспективы нефтегазоносности; осадочный комплекс; сейсмогеологический разрез; катагенез; нефтегазоматеринские отложения; коллектор; пористость; проницаемость; геофизические исследования скважин.*

Аннотация: На основе комплексной интерпретации современных сейсморазведочных 2D-данных и результатов бурения глубоких скважин выполнен анализ геологического строения и прогноз ловушек углеводородов в северных и центральных районах Предверхоянского краевого прогиба. В статье рассмотрены стратиграфия, литология, тектоническое строение, распределение в осадочном разрезе залежей и перспективных ловушек углеводородов, а также геохимические предпосылки нефтегазоносности палеозой-мезозойских отложений осадочного чехла Предверхоянского прогиба. В результате интерпретации сейсморазведочных 2D-данных доказано, что в верхнепалеозой-мезозойском разрезе распространены крупные ловушки структурно-тектонического, реже — структурного типа, причем их число превышает выявленное предыдущими работами. Характерной особенностью геологического строения территории является широкое распространение ловушек литологического типа, которые прослеживаются на современных сейсмических разрезах. Данные факторы положительно влияют на оценку перспектив северных и центральных районов Предверхоянской нефтегазоносной области. Осадочный чехол северной части прогиба обладает наиболее высокими перспективами для поиска углеводородов. Максимально перспективной является территория приплатформенного крыла Ленской ветви от Бахынайской площади на юге до Говоровской на севере. В пределах данной территории предлагается выполнить сейсморазведочные работы 2D, по результатам которых провести бурение глубокой скважины.

Для цитирования: Найденев Л.Ф. Перспективы нефтегазоносности осадочного чехла и прогноз ловушек углеводородов в северных и центральных районах Предверхоянского краевого прогиба // Геология нефти и газа. — 2021. — № 6. — С. 25–36. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-6-25-36.

Northern and central regions of Verkhoyansk Foredeep: sedimentary cover petroleum potential and hydrocarbon traps prediction

© 2021 | L.F. Naidenov

Novosibirsk Branch of All-Russian Research Geological Oil Institute, Novosibirsk, Russia; naydenov@vnigni.ru

Received 25.10.2021

Revised 03.11.2021

Accepted for publication 15.11.2021

Key words: *Verkhoyansk Foredeep; trap; petroleum potential; sedimentary sequence; geoseismic section; catagenesis; oil and gas source rocks; reservoir; porosity; permeability; well logging.*

Abstract: Analysis of geological structure and prediction of hydrocarbon traps in the northern and central regions of the Verkhoyansk Foredeep are carried out on the basis of integrated interpretation of modern 2D seismic data and deep drilling results. The paper considers the stratigraphy, lithology, tectonic framework, hydrocarbon pools and promising traps distribution in sedimentary section, as well as geochemical factors of oil and gas occurrence in Palaeozoic-Mesozoic deposits of the Verkhoyansk Foredeep sedimentary cover. The results of 2D seismic data interpretation allowed proving that large fault, less often anticlinal traps occur in the Upper Palaeozoic-Mesozoic section; and their number exceeds the number revealed by previous works. Wide occurrence of stratigraphic traps that can be identified in modern seismic sections is a characteristic feature of geological structure of the territory. These factors contribute to better assessment of the potential of northern and central regions of the Verkhoyansk Petroleum Region. Sedimentary cover of the northern part of the trough possess the highest potential in terms of hydrocarbon exploration and prospecting. The most promising is the territory of the near-platform flank of the Lensky branch — from the Bakhynaisky area in the south to the Govorovsky in the north. The author recommend 2D seismic acquisition to be conducted in this territory with subsequent deep drilling based on its results.

For citation: Naidenov L.F. Northern and central regions of Verkhoyansk Foredeep: sedimentary cover petroleum potential and hydrocarbon traps prediction. *Geologiya nefiti i gaza*. 2021;(6):25–36. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-6-25-36. In Russ.

Введение

Предверхоанский краевой прогиб расположен на востоке Сибирской платформы, прослеживается в меридиональном направлении от приустьевой части р. Лена до впадения в р. Вилюй на юге, где объединяется с Вилюйской синеклизой (Ленская ветвь), далее уходит на восток по широтному течению р. Алдан (Алданская ветвь). К территории Предверхоанского краевого прогиба приурочена одноименная нефтегазоносная область (НГО) площадью 230 тыс. км² (рис. 1).

Возможности открытия залежей УВ в пределах Предверхоанского прогиба активно изучались в ходе работ 1950–1980-х гг. [1]. На территории прогиба, простирающегося с северо-запада на юго-восток на 1500 км при ширине 40–170 км, открыто два месторождения, содержащих залежи в юрских и триасовых отложениях: Усть-Вилюйское — среднее по величине запасов газа и Собо-Хаинское — мелкое. Небольшое число открытых месторождений обусловлено слабой изученностью Предверхоанского прогиба: плотность сейсморазведочных работ, выполненных в 1950–1980-х гг., составляет 0,06 км/км², подавляющий объем бурения (27 скважин) сосредоточен в пределах месторождений, на остальной территории прогиба пробурено только 23 глубоких скважины.

В 2014–2016 гг. в северной части Предверхоанского прогиба проведены сейсморазведочные работы МОГТ-2D в объеме 1830 км (ФГБУ «ВНИГНИ», 2016), в 2018 г. — отработан речной сейсморазведочный профиль по р. Лена длиной 1050 км (АО «Росгео», 2018). Анализ современных сейсморазведочных 2D-данных в комплексе с результатами геологоразведочных работ предыдущих лет позволяет уточнить геологическое строение и перспективы нефтегазоносности осадочного чехла в северных и центральных районах Предверхоанского прогиба.

Стратиграфия, литология и нефтегазоносность осадочного чехла

Для изучения геологии Предверхоанского прогиба были проанализированы разрезы 15 скважин (см. рис. 1). Осадочный чехол Предверхоанского краевого прогиба представлен отложениями среднего — верхнего рифея, венда, кембрия, перми, триаса, юры и мела. Осадки части нижнего (ордовик), среднего (силур, девон) и верхнего (карбон) палеозоя в разрезе отсутствуют, но вполне вероятно, что в том или ином объеме они развиты во впадинах (грабенах) [2].

Суммарная мощность осадочного чехла по результатам интерпретации современных сейсморазведочных работ изменяется от сотен метров на приплатформенном крыле прогиба до 12 км в наиболее прогнутых участках поднадвиговой зоны. Корреляционная схема отложений осадочного чехла по скважинам Дьяппальская-1, Говоровская-1, Джарджанская-1 и Бахынайская-1 приведена на рис. 2.

Докембрийский осадочный комплекс представлен карбонатно-терригенной толщей, содержащей доломиты, известняки, мергели с прослоями аргиллитов, алевролитов и песчаников. Рифей-вендские отложения изучены в скважинах Дьяппальская-1 и Говоровская-1, расположенных в северной части прогиба, а также в обнажениях Хараулахского хребта (Верхоанно-Чукотская складчатая область). Разрез рифея представлен нэлгерской, сиэтанчанской и эсэлехской свитами, венда — хараютехской. Фильтрационно-емкостные свойства пород низкие: коэффициент пористости (K_p) в доломитах рифея не превышает 2,5 %, коэффициент проницаемости ($K_{пр}$) — $0,5 \cdot 10^{-3}$ мкм². В скв. Дьяппальская-1 при испытании вендских отложений в открытом стволе получен фильтрат бурового раствора, перебитый газом.

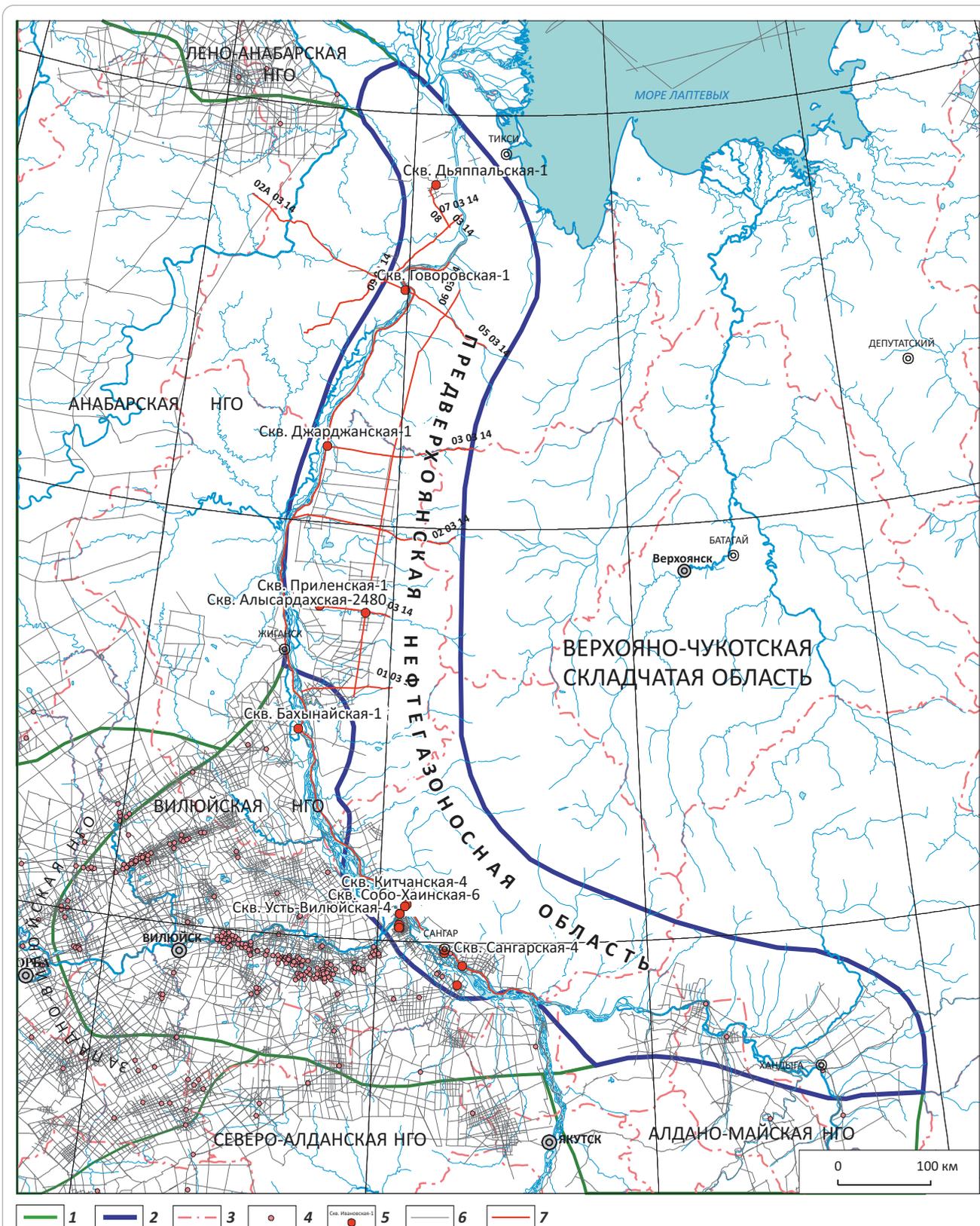
Нижне-среднепалеозойский осадочный комплекс, как и докембрийский, изучен только в северной части Предверхоанского прогиба — в скв. Дьяппальская и в обнажениях Хараулахского хребта. Комплекс представлен кембрийской системой — тусэрской, сэктэнской, маяктахской, огоньорской свитами карбонатно-терригенного состава. Максимальные значения K_p карбонатных пород составляют 2 %, $K_{пр}$ — $0,1 \cdot 10^{-3}$ мкм², породы практически непроницаемы.

Верхнепалеозой-нижнемезозойский осадочный комплекс. Отложения верхнего палеозоя вскрыты скважинами только в объеме пермской системы. Каменноугольные отложения выходят на дневную поверхность в складчато-надвиговой зоне Предверхоанского краевого прогиба. Нижнемезозойские породы представлены триасовой системой, в разном объеме исследованной глубокими скважинами.

Пермские отложения вскрыты скважинами Дьяппальская-1, Говоровская-1, Джарджанская-1, где они со стратиграфическим перерывом перекрывают соответственно верхнекембрийские, рифейские и протерозойские породы. Джаргалахская толща приуральского возраста вскрыта скв. Дьяппальская-1, сложена переслаивающимися серыми, светло-серыми песчаниками, алевролитами и аргиллитами. На территории Анабаро-Хатангского прогиба приуральские отложения (нижнекожевниковская свита) содержат залежи нефти. Бурская толща (биармийская, татарская эпохи) в скважинах Говоровская-1 и Джарджанская-1 представлена серыми песчаниками и алевролитами с прослоями аргиллитов. В скв. Джарджанская-1 в результате испытаний бурской толщи получены притоки воды дебитом до 55 м³/сут с растворенным горючим газом (значения K_p в песчаных прослоях достигают 18 %, $K_{пр}$ — $28 \cdot 10^{-3}$ мкм²). В пределах Вилюйской синеклизы верхнепермские отложения являются объектом разработки газа и конденсата.

Триасовые отложения севера Предверхоанского прогиба, относящиеся к Нижнеленской, Западно-

Рис. 1. Карта изученности территории сейсморазведочными работами и бурением
 Fig. 1. Exploration maturity map: seismic and drilling



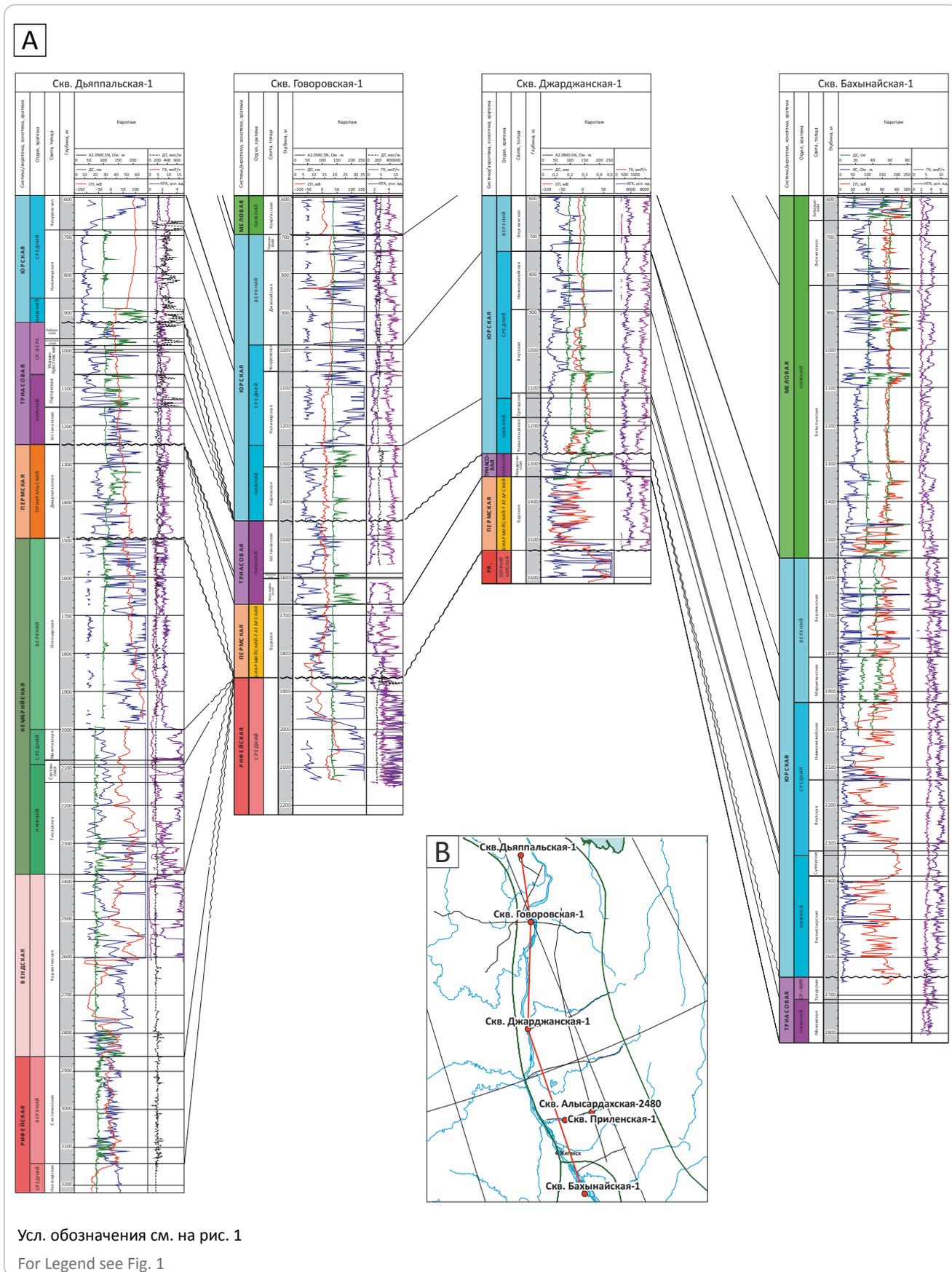
Границы (1–3): 1 — НГО, 2 — Предверхойанской НГО, 3 — административные; скважины (4, 5): 4 — глубокие, 5 — глубокие, участвующие в анализе; сейсмические профили (6, 7): 6 — 1960–1980 гг., 7 — 2014–2018 гг.

Boundaries (1–3): 1 — Petroleum Area, 2 — Verkhoyansk Petroleum Area, 3 — administrative; wells (4, 5): 4 — deep, 5 — deep used in the analysis; seismic lines (6, 7): 6 — 1960–1980, 7 — 2014–2018



Рис. 2. Корреляционная схема отложений осадочного чехла по скважинам Дьяпальская-1, Говоровская-1, Джарджанская-1 и Бахынайская-1 (А) и схема их расположения (В)

Fig. 2. Correlation chart of sedimentary cover deposits across the wells Dyappalskaya-1, Govorovskaya-1, Dzhardzhanskaya-1, and Bakhynaiskaya-1 (A) and well location map (B)



Верхоянской и Нижневиллюйской фациальным зонам, вскрыты и изучены во всех анализируемых скважинах. Отложения нижнего, среднего и верхнего отделов триаса вскрыты скважинами Бахынайская-1, Алысардахская-2480 и Дьяппальская-1. В первых двух разрезах не вскрыт на полную мощность из-за недостаточной глубины забоя скважин, а в последней нижнетриасовые отложения размывты. В скважинах Приленская-1, Джарджанская-1 и Говоровская-1 средне- и верхнетриасовые отложения выклиниваются, триас представлен только нижним отделом.

Нижнетриасовые отложения Нижнеленской фациальной зоны (северные районы Предверхоанского прогиба) представлены терригенными породами улахан-юряхской, чекановской, ыстанахской и пастахской свит. Чекановская свита сложена темно-серыми аргиллитами оскольчатых, в верхней части — темно-серыми битуминозными известняками. В Нижнеленской и Западно-Верхоянской фациальных зонах в нижнем триасе выделены терригенно-вулканогенные отложения неджелинской свиты (нижняя часть — туфы, песчаники, алевролиты, верхняя — аргиллиты с прослоями алевролитов), глинистые породы мономской свиты и существенно песчаные отложения сыгынканской свиты. Литолого-физические свойства коллекторов изменяются в широких пределах — II–VI классы по А.А. Ханину.

Нижнетриасовые отложения Виллюйской синеклизы содержат подавляющую часть запасов газа и конденсата.

Средний и верхний отделы триаса в Нижнеленской фациальной зоне представлены улахан-кrestовской, осипайской (зеленые аргиллиты, алевролиты, вверху — песчаники) и чайдахской (песчаники, алевролиты с прослоями аргиллитов) свитами. В Нижневиллюйской фациальной зоне разрез сложен песчаниками и алевролитами бегиджанской свиты и песчаниками с линзами конгломератов, прослоями алевролитов, глин, аргиллитов, линзочками угля тулурской свиты. Средне-верхнетриасовые породы обладают хорошими коллекторскими свойствами: $K_n = 10\text{--}20\%$, достигая 32% , K_{np} — до $1000 \cdot 10^{-3}$ мкм². Мелкие залежи УВ в рассматриваемых отложениях встречены на Собо-Хаинском месторождении.

Мезозойский осадочный комплекс наиболее широко представлен на территории центральных и северных районов Предверхоанского краевого прогиба. Стратиграфический диапазон комплекса — от геттанга до коньяка.

Отложения нижней юры залегают на триасовых со стратиграфическим перерывом: в разрезе скв. Дьяппальская-1 — в объеме от верхов карния до тоара, скв. Говоровская-1 — от верхов оленека до геттанга, скважин Джарджанская-1 и Приленская-1 — от верхов инда до геттанга, скважин Алысардахская-2480 и Бахынайская-1 — от карния до геттанга. Во всех изучаемых скважинах юрские отложения представлены тремя отделами.

Нижне-среднеюрские отложения исследуемой территории в северных районах представлены лено-анабарским типом разреза, в южных — виллюйским. Особенностью строения данной толщи является присутствие в разрезе битуминозных глин и аргиллитов сунтарской и низов келимьярской свит (тоар). Глинистые сунтарские отложения являются флюидоупором для песчанистой кызылсырской свиты и ее аналогов ($K_n = 3\text{--}30\%$, K_{np} — до $1000 \cdot 10^{-3}$ мкм²). К кызылсырским отложениям на территории Виллюйской синеклизы и Предверхоанского прогиба приурочены залежи газа. Выше лежащие среднеюрские отложения представлены песчаниками и алевролитами якутской и нижневиллюйской свит, которые перекрыты неравномерным переслаиванием аргиллитов, алевролитов, песчаников с прослоями углей марыкчанской свиты позднеюрского возраста (оксфорд). Завершает разрез верхнеюрских отложений бергеинская свита, сложенная песчаниками с прослоями аргиллитов. В верхнеюрских отложениях Виллюйской синеклизы и Предверхоанского прогиба открыты небольшие газовые залежи.

Меловые отложения в северных и центральных районах представлены нижним отделом (батыльхская, эксеняхская, хатырыкская свиты), в южных районах, пограничных с Виллюйской синеклизой, разрез более полный — присутствуют отложения верхнего мела (аграфеновская свита). Коллекторские свойства меловых пород высокие, и, хотя залежей УВ не обнаружено, имеются признаки газоносности — в скв. Алысардахская-2480 в процессе бурения из интервала 98–502 м получен приток водорастворенного газа метаново-азотного состава.

Тектоническое строение

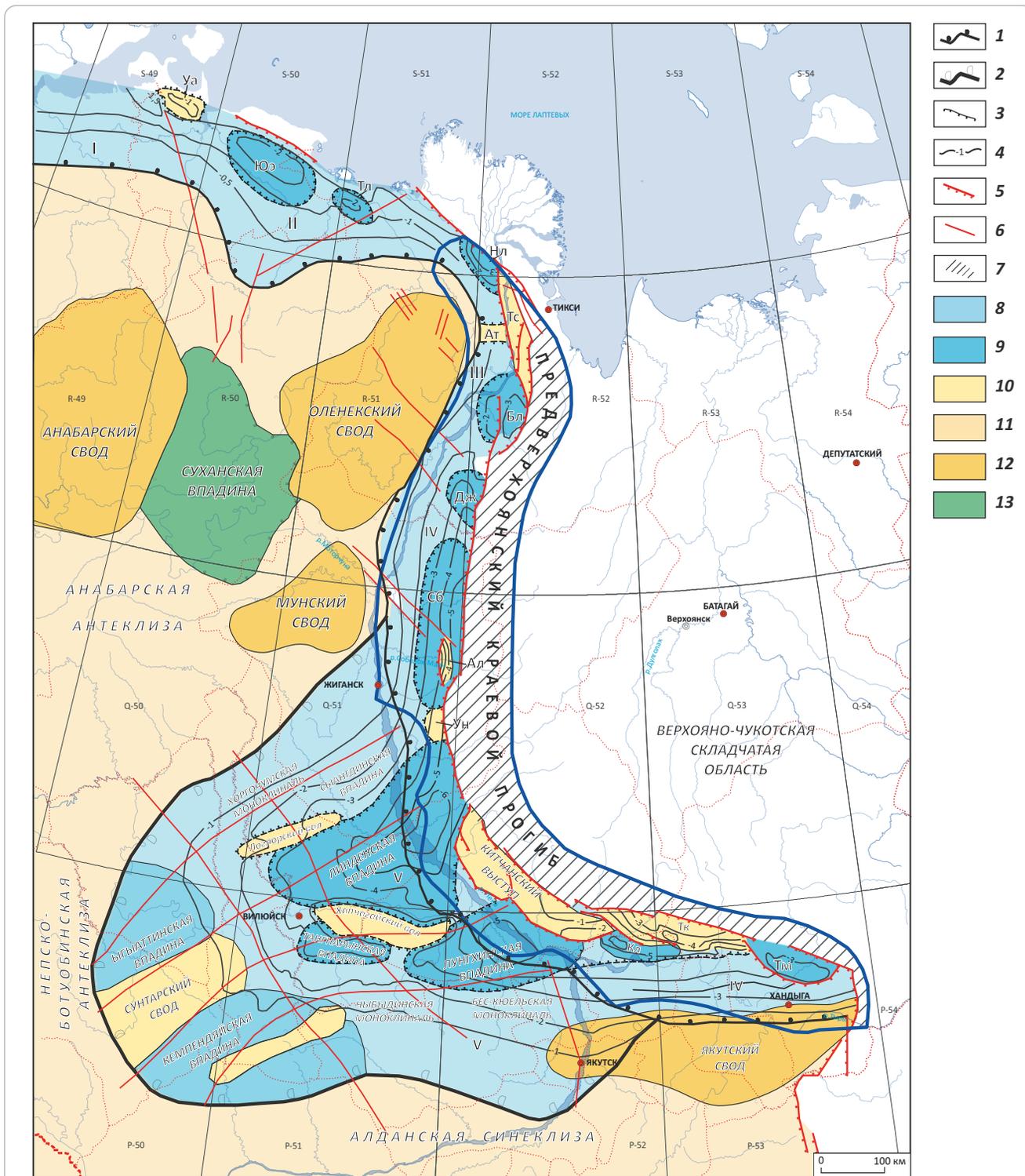
В тектоническом отношении рассматриваемая территория представляет собой наложенную на северо-восточную окраину Сибирской платформы мезозойскую отрицательную структуру, выполненную мощной толщей верхнепалеозой-мезозойских отложений [3].

Предверхоанский краевой прогиб отделяется от Лено-Анабарского прогиба Оленекско-Туорасисской седловиной [4] (рис. 3). Западная граница условно проводится по линии современного распространения юрских отложений. Восточная граница со складчатой зоной выражена более отчетливо. В современном структурном плане сочленение прогиба и мегантиклинория — это сложнопостроенная складчато-надвиговая зона [3].

В поперечном сечении Предверхоанский прогиб имеет асимметричное строение. Внешнее (приплатформенное) крыло прогиба, полого наклоненное на восток, занимает по площади большую часть прогиба и характеризуется относительно небольшими толщинами отложений верхнего палеозоя и мезозоя (100–3000 м). Как отмечалось, внутреннее (прискладчатое) крыло представлено зоной складчато-надвиговых дислокаций. В его пределах резко



Рис. 3. Тектоническая схема системы мезозойских депрессий востока Сибирской платформы (по [4], с дополнениями)
Fig. 3. Tectonic scheme of the Mesozoic depressions system in the Siberian Platform east (from [4], complemented)



Границы (1–3): 1 — Предверхоанского и Лено-Анабарского прогибов, 2 — Вилюйской синеклизы, 3 — структур II порядка (впадин и поднятий); 4 — изогипсы по подошве мезозоя, км; 5 — надвиги в зоне сочленения со складчатой областью; 6 — разломы; 7 — складчато-надвиговая зона; **краевые депрессии (8–10):** 8 — Вилюйская синеклиза, Предверхоанский и Лено-Анабарский прогибы, 9 — впадины, 10 — поднятия; **Сибирская платформа (11–13):** 11 — положительные структуры, 12 — своды, 13 — впадины.

I — Анабаро-Хатангская седловина (Уа — Усть-Анабарское поднятие), II — Лено-Анабарский прогиб (впадины: Юэ — Юэ-линская, Нл — Нижнеленская, Тл — Таймыльрская), III — Оленекско-Туорасисская седловина, IV — Предверхоанский прогиб (впадины: Бл — Булунская, Дж — Джарджанская, Сб — Собопольская, Кл — Келинская, Тм — Томпонская; поднятия: Тс — Туорасисский выступ, Ат — Атырканский порог, Ал — Алысардахский вал, Ун — Ундюлюнское, Тк — Тукуланский выступ), V — Вилюйская синеклиза.

Остальные усл. обозначения см. на рис. 1

Усл. обозначения к рис. 3, окончание
Legend for Fig. 3, end.

Boundaries (1–3): 1 — Verkhojansk and Leno-Anabarsky troughs, 2 — Vilyuisky syncline, 3 — II-nd order structures (depressions and highs); 4 — structural contours over the Mesozoic Bottom, km; 5 — thrusts in the zone of junction with fold area; 6 — faults; 7 — fold and thrust zone; **foreland depressions (8–10):** 8 — Vilyuisky syncline, Verkhojansk and Leno-Anabarsky troughs, 9 — troughs, 10 — highs; **Siberian Platform (11–13):** 11 — positive structure, 12 — arch, 13 — depression.

I — Anabaro-Khatanga Saddle (Ya — Ust'-Anabarsky high), II — Leno-Anabarsky trough (depressions: Юэ — Yuelinsky, Нл — Nizhnelensky, Тл — Taimylyrsky), III — Oleneksky-Tuorasissky saddle, IV — Verkhojansk trough (depressions: Бл — Bulunsky, Дж — Dzhardzhansky, Сб — Sobopolsky, Кл — Kelinsky, Тм — Tomponsky; highs: Тс — Tuorasissky uplift, Ат — Atyrkansky bar, Ал — Alysardakhsy swell, Ун — Undyulyungsky, Тк — Tukulansky uplift), V — Vilyuisky syncline.

For other Legend items see Fig. 1

возрастает мощность верхнепалеозой–мезозойских отложений.

Предверхожанский краевой прогиб состоит из ряда вытянутых по оси впадин и разделяющих их поперечных поднятий (см. рис. 3). В пределах территории исследований в центральной части прогиба расположены Линденская и Лунгхинская впадины, разделенные Китчанским выступом. В северной части прогиба выделяются Собокольская, Джорджанская и Булунская впадины, Ундюлюнское поднятие, Алысардахский вал, Атырканский порог.

При детальном изучении становится очевидным, что вышеперечисленные структурные элементы имеют более сложное строение. В пределах впадин выделяются локальные брахиантиклиналы, узкие вытянутые антиклинальные складки, оси которых повторяют конфигурацию складчатой области. Поднятия представлены гребневидными и коробчатыми складками, осложненными надвигами и сбросами.

Геохимические предпосылки нефтегазоносности

Нефтегазоматеринские отложения Предверхожанского краевого прогиба охватывают временной диапазон от перми до раннего мела включительно. Нижележащие породы палеозоя и докембрия изучены слабо, за исключением крайнего севера, где данный интервал исследован как в обнажениях Чекуровской антиклиналы, так и в разрезе скв. Дьяпальская. Тем не менее площадь нефтегазогенерации кембрийских и докембрийских отложений в масштабах изучаемого объекта незначительна и данные комплексы целесообразно рассматривать при изучении нефтегазогенерационного потенциала Лено-Анабарской НГО.

В пермских отложениях, широко развитых в пределах рассматриваемой территории, значения $C_{орг}$ в глинистых разностях составляют 1–2 %, в грубообломочных разностях — 0,5–1 %. В глинистых и песчано-алевролитовых разностях пермских пород концентрации хлороформенных битумоидов составляют в среднем 0,01–0,03 %. Отмечается повышение концентраций по направлению к центральным частям прогиба. Для рассеянного органического вещества (РОВ) характерно преобладание гумусовой составляющей. В верхнепермской угленосной формации Лено-Виллюйской НГО сосредоточено 17 790 млрд т РОВ, что составляет более 40 % всего объема, захороненного в верхнепалеозойских

и мезозойских отложениях системы краевых депрессий [4].

Нижнетриасовые вулканогенно-осадочные породы характеризуются низкими концентрациями ОВ, абсолютная его масса в Лено-Виллюйском НГБ оценивается в 1224 млрд т [4]. Низкая биопродуктивность, сухой и жаркий климат в раннем триасе в пределах всей рассматриваемой территории обусловили накопление в отложениях очень малого количества ОВ — $C_{орг} = 0,1–0,5$ %. Средне-верхнетриасовые отложения несколько богаче ОВ ($C_{орг}$ составляет в среднем 0,5 %, $B_{хл} = 0,022$ %), его абсолютная масса равна около 700 млрд т.

В ранней юре (тоар – ранний аален) на территории Виллюйской синеклизы и Предверхожанского прогиба господствовали условия максимальной трансгрессии. Морские условия осадконакопления, нормальная соленость вод, гумидный климат способствовали накоплению битуминозной сунтарской свиты, содержащей значительное количество ОВ с преобладанием водорослево-планктоногенного материала вплоть до чисто сапропелевых разностей. Содержание $C_{орг}$ в тонкозернистых разностях составляет 0,5–1,5 %. По данным [4], абсолютная масса ОВ в нижнеюрских отложениях составляет 3170 млрд т.

В среднеюрскую эпоху происходила регрессия, море постепенно покидало Виллюйскую синеклизу, но на территории Предверхожанского прогиба морская обстановка седиментации сохранялась. Среда формирования была восстановительной, а состав ОВ этих отложений носил смешанный характер. Среднее содержание $C_{орг}$ в аргиллитах среднеюрских отложений — 1,35 %, в песчаниках — 0,69 %. Абсолютная масса ОВ составляет 1200 млрд т.

В позднеюрскую эпоху море окончательно покинуло территорию Виллюйской синеклизы и южную половину Предверхожанского прогиба. Осадконакопление здесь происходило в условиях низменной аккумулятивной равнины. В этих условиях накапливалось ОВ сапропелито-гумитового и гумитового типов. Среднее содержание $C_{орг}$ в аргиллитах верхней юры — 2,16 %, в песчаниках — 0,51 %, абсолютная масса ОВ — 5221 млрд т.

Нижнемеловые отложения Предверхожанского прогиба представлены континентальной толщей переслаивающихся песчаных и угленосных толщ. Накопление нижнемеловых осадков происходило

в условиях обширной прибрежной низменности, иногда затопляемой водами эпиконтинентального бассейна. Среднее содержание $C_{\text{орг}}$ в аргиллитах — 1,6 %, в песчаниках — 0,38 %. Абсолютная масса РОВ — 7420 млрд т [4].

Степень катагенетической преобразованности ОВ в отложениях перми по данным А.Ф. Сафронова [3] изменяется от МК₁ до АК, триаса — от МК₁ до МК₄, юры — от ПК до МК₃, нижнего мела — от ПК до МК₁. Отложения перми и триаса реализовали свой нефтегазогенерационный потенциал, юрские — частично реализовали и продолжают реализовывать, а нижнемеловые отложения находятся в обстановках, соответствующих началу главной фазы нефтегазообразования.

Размещение зон катагенеза в пределах изучаемой территории подчиняется единой закономерности. Отчетливо проявлена тенденция к последовательной смене зон слабого катагенеза более интенсивным не только с увеличением глубин залегания в направлении к Линденской впадине (центральная часть прогиба), но и при приближении к Верхояно-Чукотской складчатой области. Большинство зон в плане достаточно четко повторяет контуры основных структурных элементов Предверхоанского прогиба и Вилюйской синеклизы.

Интерпретация геолого-геофизических материалов

Для уточнения геологического строения, оценки перспектив нефтегазоносности и прогноза ловушек УВ в северных и центральных районах Предверхоанского краевого прогиба в Новосибирском филиале ФГБУ «ВНИГНИ» была выполнена комплексная интерпретация современных сейсморазведочных 2D-данных 2014–2018 гг. в объеме 2700 км и результатов бурения глубоких скважин.

На основе анализа ГИС, ретроспективных определений ископаемых остатков организмов и спорово-пыльцевых комплексов, авторских стратиграфических исследований была проведена корреляция разрезов скважин в докембрий-мезозойском интервале и составлены корреляционные схемы.

В пределах изучаемой территории сейсмокаротажные исследования и вертикальное сейсмическое профилирование не проводились. Изучение скоростной характеристики отложений и стратиграфическая привязка отражающих горизонтов осуществлялись на основе данных акустического каротажа, выполненного в скважинах Дьяппальская-1, Говоровская-1, Приленская-1, Алысардахская-2480 и Сангарская-4.

На сейсмических разрезах МОГТ после привязки разрезов скважин были прослежены следующие отражающие горизонты: Ф — в кровле кристаллического фундамента, R₂ — в кровле среднерифейских отложений, R — в кровле рифея, V — в кровле венда, ПП — в подошве мезозойских отложений, Т₁ — в кровле нижнетриасовых отложений, Т — в кровле

триасовых отложений, J₁ — в кровле сунтарской свиты и аналогов (ранняя юра, тоар), J₂ — в кровле нижневиллюйской свиты и аналогов (средняя юра, келловей), J₃ — в кровле бергеинской свиты и аналогов (поздняя юра, волга) и K₁ — в кровле батыльхской свиты и аналогов (ранний мел, баррем) (рис. 4).

Анализ сейсмических разрезов и результатов бурения скважин Дьяппальская-1, Говоровская-1, Джарджанская-1 показывает, что разрез осадочного чехла с севера на юг существенно меняется. В районе скв. Дьяппальская-1 чехол имеет максимальный стратиграфический диапазон, сложен отложениями рифея, венда, нижнего (кембрий) и верхнего (пермь) палеозоя и мезозоя (см. рис. 4).

Разрез скв. Говоровская-1 по стратиграфическому объему значительно менее полный, чем разрез скв. Дьяппальская-1: отложения позднерифейского, вендского, кембрийского и раннепермского (приуральского) возраста и на породах среднего рифея залегают верхнепалеозой-мезозойские отложения. По присутствию в разрезе рифейских толщ район скв. Говоровская-1 относится к переходной зоне между Предверхоанским и Лено-Анабарским прогибами. Южнее отложения рифея выклиниваются и осадочный чехол северной (Ленской) ветви Предверхоанского прогиба сложен отложениями верхнего палеозоя и мезозоя.

Прогноз ловушек УВ

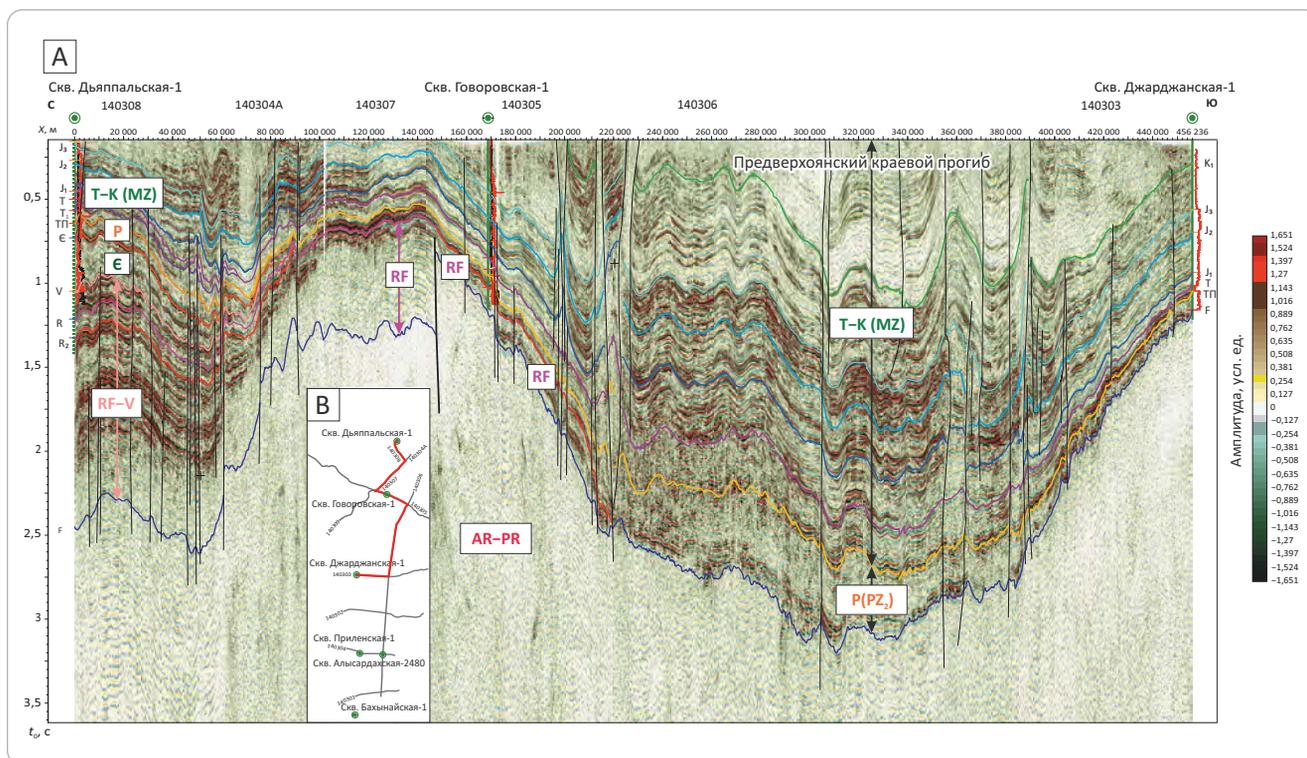
Как отмечалось, изученность Предверхоанского прогиба сейсморазведочными работами низкая, поэтому выявить и локализовать ловушки УВ на основе этих материалов не представляется возможным. Для прогноза ловушек в северных и центральных районах Предверхоанского прогиба были использованы сведения о перспективных объектах и структурах, стоящих на балансе ФГБУ «Росгеолфонд», а также материалы о ловушках [3]. По данным ФГБУ «Росгеолфонд», в пределах изучаемой территории находится 8 ловушек нефти и газа, по материалам А.Ф. Сафронова — 27 (рис. 5).

Структуры приплатформенного крыла прогиба, выделенные А.Ф. Сафроновым, имеют брахиантиклинальную форму. Размеры складок варьируют от 10 до 70 км по длинной оси при амплитудах от первых десятков до сотен метров. Ориентировка складок параллельна оси прогиба; ближе к осевой части складки иногда расположены под углом к общему простиранию. Брахиантиклиналы закартированы по результатам анализа геологической съемки, а также по данным интерпретации магнитных и гравитационных аномалий геологами Всесоюзного аэрогеологического треста [3].

Для анализа достоверности существования перспективных ловушек, выявленных по результатам работ прошлых лет, была выполнена комплексная интерпретация временных разрезов МОГТ-2D, результатов бурения глубоких скважин, материалов геологической съемки масштабов 1:1 000 000 и 1:200 000.

Рис. 4. Композитный сейсмогеологический разрез по линии профилей 140308 – 140304А – 140307 – 140305 – 140306 – 140303 (А) и схема их расположения (В)

Fig. 4. Slalom geoseismic section along the survey lines 140308 – 140304A – 140307 – 140305 – 140306 – 140303 (A) and location map (B)



В качестве примера проанализируем сейсмогеологический разрез по профилю 140302 (рис. 6). На разрезе фиксируются крупные ловушки структурно-тектонического, реже — структурного типа, причем их больше, чем было выявлено предыдущими работами. Характерной особенностью геологического строения изучаемой территории является развитие в разное время переходных и континентальных обстановок осадконакопления, что повлекло широкое распространение ловушек литологического типа, которые также прослеживаются на современных сейсмических разрезах. Все эти факторы положительно влияют на оценку перспектив северных и центральных районов Предверхоанской НГО.

Фазовое состояние УВ в ловушках может быть весьма разнообразным. Пермские отложения в пределах прискладчатого крыла прогиба в конце юрского периода находились в главной зоне газобразования, приплатформенного крыла — в главной зоне нефтеобразования [4]. Юрские отложения на всей территории, кроме фронтальной части приплатформенного крыла, к настоящему времени прошли главную фазу нефтеобразования. Таким образом, ловушки, распространенные в разрезе осадочного чехла, могли заполняться как нефтью, так и сухим газом, газоконденсатом. При этом количество газа и газоконденсата, судя по всему, будет преобладать. Миграция УВ из нефтегазоматеринских толщ в ловушки происходила из погруженных областей прогиба.

В результате анализа петрофизических характеристик пород в разрезе скважин Ленской ветви прогиба сделан вывод о том, что фильтрационно-емкостные свойства коллекторов даже на относительно малых глубинах резко ухудшаются в скважинах, пробуренных на территории (или вблизи) складчато-надвиговой зоны Предверхоанского прогиба (скважины Дьяпальская-1, Говоровская-1, Алысардахская-2480, Китчанская-4) (рис. 7). Очевидно, что это вызвано процессом динамометаморфизма, обусловленным движением Верхояно-Чукотской складчатой области в сторону Сибирской платформы.

Центральная часть Предверхоанского краевого прогиба осложнена крупной положительной структурой — Китчанским выступом (абсолютные отметки кровли перми на западном борту варьируют от $-2,5$ до $-4,5$ км). На западе он граничит с Линденской и Лунгхинской впадинами, от Хапчагайского вала, расположенного в пределах Вилюйской синеклизы, он отделяется прогибом (см. рис. 3). Свод Китчанского выступа представлен линейной складчатостью северо-западного простирания [5]. К складкам приурочены надвиги с амплитудой до первых километров. По данным петрофизических исследований керна скважин Китчанской площади, коллекторские свойства пород верхнепалеозой-нижнемезозойского комплекса низкие: средняя пористость — 5 %, газопроницаемость — $(0-2) \cdot 10^{-3}$ мкм².

На остальной территории центральной части Предверхоанского краевого прогиба господствуют

Рис. 5. Карта ловушек УВ в северных районах Предверхоянской НГО
Fig. 5. Map of HC traps in the northern regions of the Verkhoyansk Petroleum Area

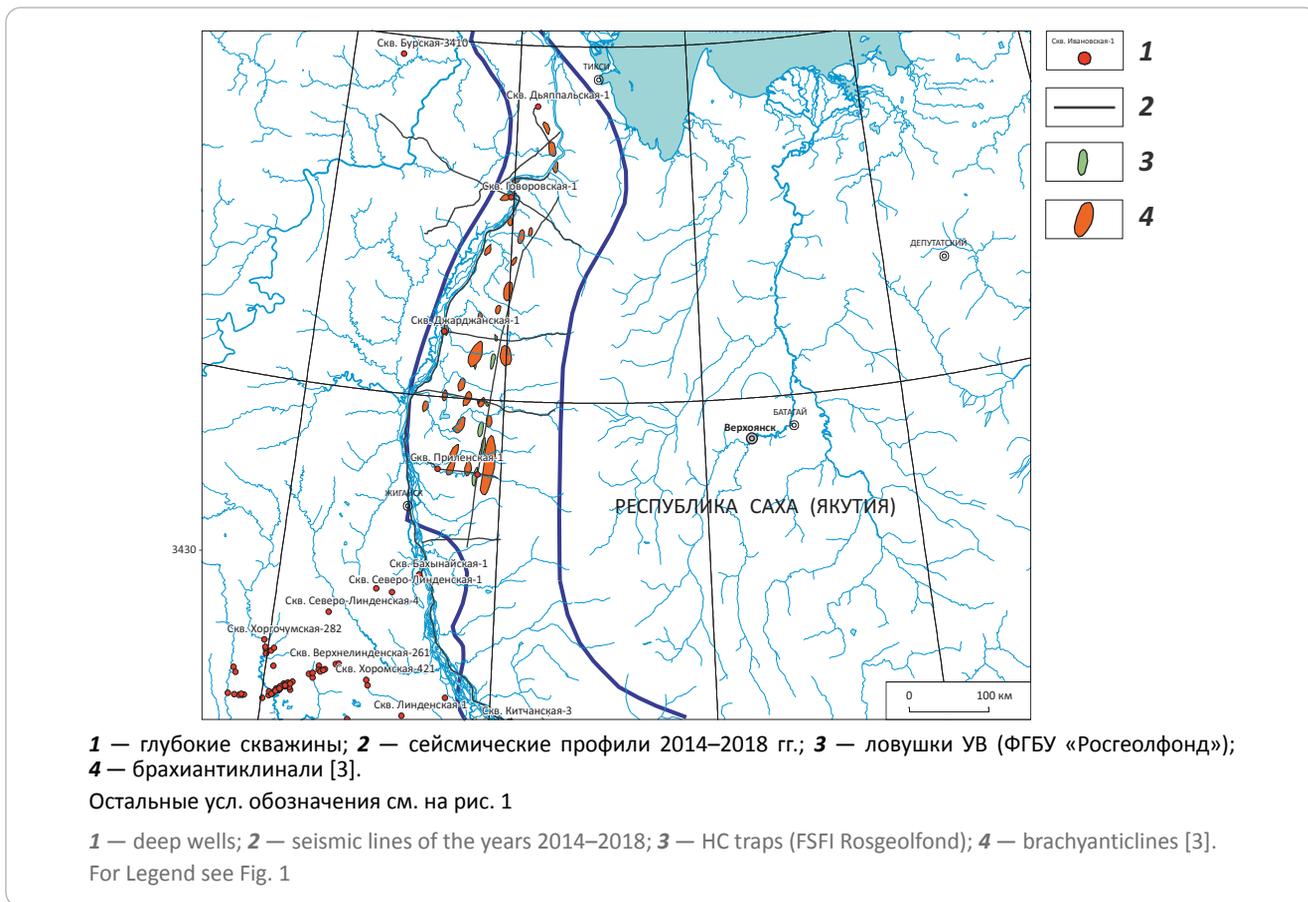


Рис. 6. Сейсмогеологический разрез по профилю 140302 (А) и схема его расположения (В)
Fig. 6. Geoseismic section along 140302 Line (A) and the location map (B)

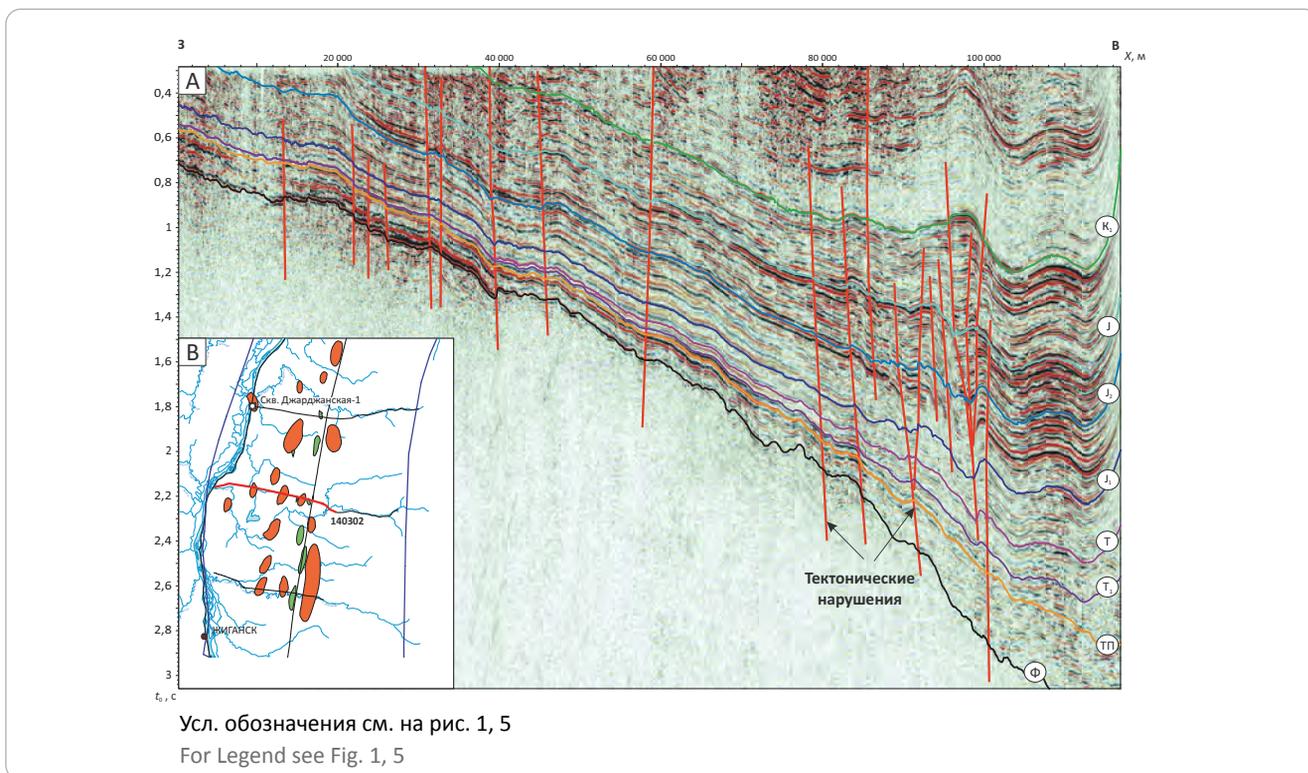
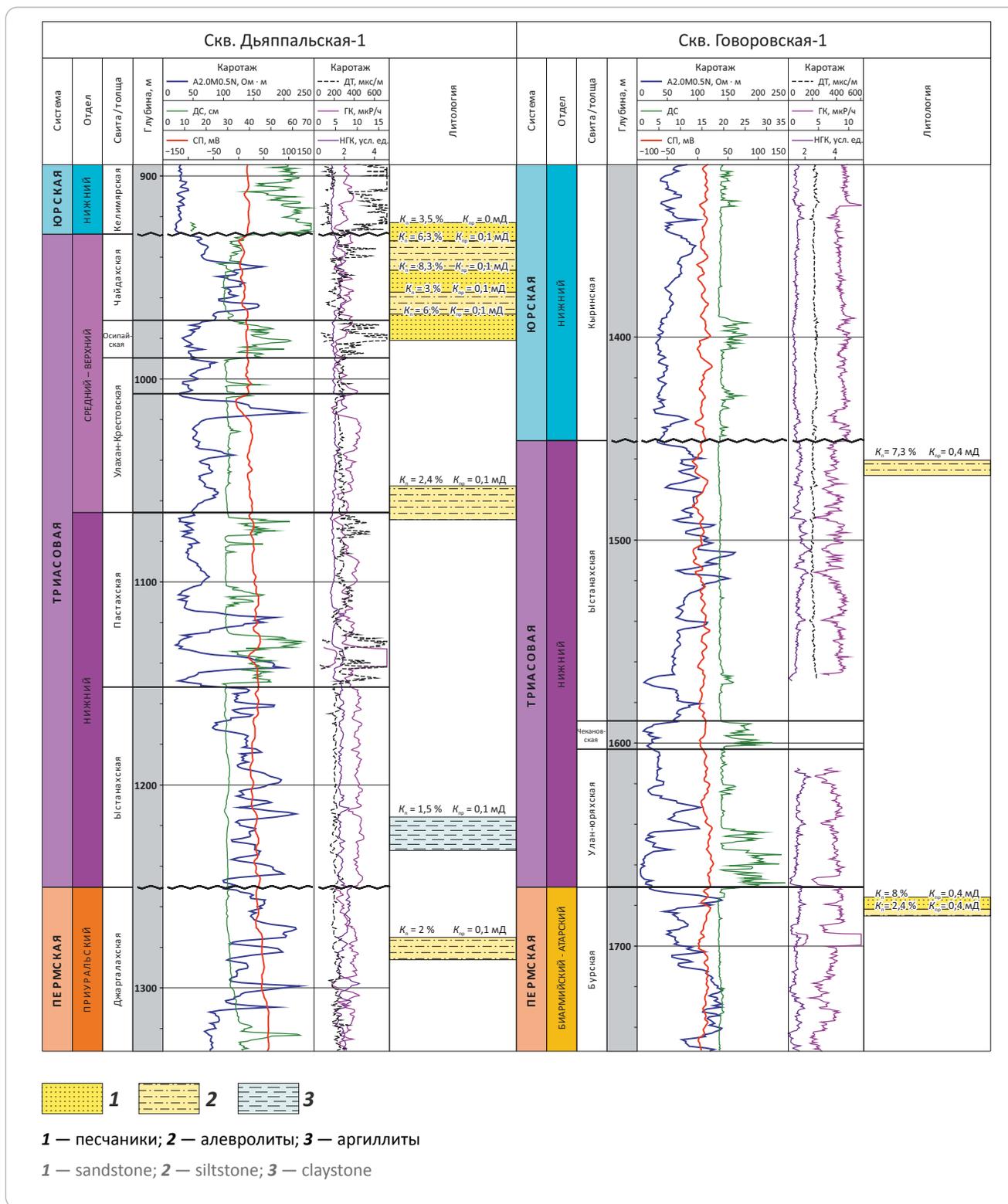


Рис. 7. Литолого-физические характеристики верхнепалеозой-мезозойских отложений в скважинах Дьяпальская-1 и Говоровская-1

Fig. 7. Lithologic and physical characteristics of the Upper Palaeozoic-Mesozoic deposits in the Dyappalskaya-1 and Govorovskaya-1 wells



две крупные отрицательные структуры – Линденская и Лунгхинская впадины [5, 6], которые являются элементами как Вилюйской синеклизы, так и Предверхоанского прогиба (см. рис. 3). Абсолютные отметки кровли перми (ОГ ТП) здесь изменяются от -4,8 до -6 км.

Как отмечалось, в крайней западной части Китчанского выступа расположены Собо-Хаинская и Усть-Вилюйская брахиантиклинали, на которых открыты небольшие по запасам газовые залежи. Непромышленные притоки нефти получены из верхнеюрских и нижнемеловых отложений на

Бергеинской и Олойской площадях, расположенных в центральной части Предверхоанского прогиба (70 км на юго-восток от Усть-Виллюйского поднятия). Бурение на Сангарской и Эксеняхской площадях (см. рис. 1), расположенных на одноименных структурах, положительных результатов не дало.

Центральная часть Предверхоанского краевого прогиба, охватывающая Китчанский выступ и восточные районы Линденской и Лунгхинской впадин, неравномерно покрыта сейсморазведочными работами МОВ преимущественно в 1950–1960-х гг., и в будущем необходимо дальнейшее изучение этой территории сейсморазведочными работами МОГТ-2D.

Выводы

Осадочный чехол северной части Предверхоанского краевого прогиба обладает высокими перспективами для поиска УВ. В его разрезе присутствуют нефтегазоматеринские толщи, коллекторы и флюидоупоры, перспективные ловушки разных типов, а также разломы, обеспечивающие миграцию УВ в ловушки.

Максимально перспективной для поисков нефти и газа является территория приплатформенного крыла Ленской ветви Предверхоанского краевого прогиба от Бахынайской площади на юге до Говоровской на севере. В пределах данной территории целесообразно провести сейсморазведочные работы 2D, по результатам которых предлагается бурение глубокой скважины.

Литература

1. Мизурский Ф.А., Якупова Е.М. Новые данные о геологическом строении антиклинальных структур северной части Предверхоанского перикратонного прогиба // Геология нефти и газа. – 2017. – № 5. – С. 31–36.
2. Найденев Л.Ф. Прогноз нефтегазоносности осадочного чехла в северной части Предверхоанского прогиба [Электронный ресурс] // «Санкт-Петербург 2018. Инновации в геонауках — время открытий»: 8-я международная геолого-геофизическая конференция и выставка EAGE (Санкт-Петербург, апрель 2018 г.). – 2018. – Режим доступа: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.201800134> (дата обращения 04.10.2021 г.). DOI: 10.3997/2214-4609.201800134.
3. Сафронов А.Ф. Геология и перспективы нефтегазоносности северной части Предверхоанского прогиба. – Новосибирск : Наука, 1974. – 112 с.
4. Соколов Б.А., Сафронов А.Ф., Трофимук А.А., Фрадкин Г.С., Бакин В.Е., Каширцев В.А., Япаскурт О.В., Изосимова А.Н. История нефтегазообразования и нефтегазонакопления на востоке Сибирской платформы. – М. : Наука, 1986. – 166 с.
5. Мокшанцев К.Б., Бабаян Г.Д., Васильева М.Н., Горнштейн Д.К., Гудков А.А., Гусев Г.С., Еловских В.В., Штех Г.И. Тектоническое строение нефтегазоносных районов Якутии // Геологическое строение и нефтегазоносность восточной части Сибирской платформы и прилегающих районов. – М. : Недра, 1968. – С. 94–116.
6. Анциферов А.С., Бакин В.Е., Варламов И.П. и др. Геология нефти и газа Сибирской платформы / Под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова, А.А. Трофимука. – М. : Недра, 1981. – 552 с.

References

1. Migursky F.A., Yakupova E.M. Feasibility of regional studies of oil and gas potential of the Pred-Verkhoyansk pericratonic foredeep. *Geologiya nefiti i gaza*. 2017;(3):18–25. In Russ.
2. Naidenov L.F. The Forecast of the Oil and Gas Presence in the Sedimentary Cover of the Northern Part of the Predverkhoyan Foredeep. In: European Association of Geoscientists & Engineers Conference Proceedings (Saint Petersburg, Apr 2018). Available at: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.201800134> (accessed 04.10.2021). DOI: 10.3997/2214-4609.201800134. In Russ.
3. Safronov A.F. *Geologiya i perspektivy neftegazonosnosti severnoi chasti Predverkhoyanskogo progiba* [Geology and prospects of oil and gas potential in the northern part of the Pred-Verkhoyansk foredeep]. Novosibirsk: Nauka; 1974. 112 p. In Russ.
4. Sokolov B.A., Safronov A.F., Trofimuk A.A., Fradkin G.S., Bakin V.E., Kashirtsev V.A., Yapaskurt O.V., Izosimova A.N. *Istoriya neftegazoobrazovaniya i neftegazonakopleniya na vostoke Sibirskoi platformy* [History of oil and gas generation and accumulation in the east of the Siberian Platform]. Moscow: Nauka; 1986. 167 p. In Russ.
5. Mokshantsev K.B., Babayan G.D., Vasil'eva M.N., Gornshstein D.K., Gudkov A.A., Gusev G.S., Elovskikh V.V., Shtekh G.I. *Tektonicheskoe stroenie neftegazonosnykh raionov Yakutii* [Tectonic structure of Yakutia oil and gas regions]. In: *Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' vostochnoi chasti Sibirskoi platformy i priliegayushchikh raionov*. Moscow: Nedra; 1968. pp. 94–116. In Russ.
6. Antsiferov A.S., Bakin V.E., Varlamov I.P. et al. *Geologiya nefiti i gaza Sibirskoi platformy* [Oil and gas geology of the Siberian Platform]. In: A.E. Kontorovich, V.S. Surkov, A.A. Trofimuk, eds. Moscow: Nedra; 1981. 552 p. In Russ.

Информация об авторе

Найденев Леонид Федорович

Директор

Новосибирский филиал ФГБУ «ВНИГНИ»,
630007 Новосибирск, ул. Коммунистическая, д. 2
e-mail: naydenov@vniigni.ru

Information about author

Leonid F. Naidenov

Director

Novosibirsk Branch of All-Russian Research Geological Oil Institute,
2, ulitsa Kommunisticheskaya, Novosibirsk, 630007, Russia
e-mail: naydenov@vniigni.ru