

УДК 550.8.05:551.72/.73(571.1)

DOI 10.31087/0016-7894-2018-4-53-62

Геологическая модель Предъенисейского верхнепротерозой-палеозойского осадочного бассейна на юго-востоке Западно-Сибирской провинции

© 2018 г. | Ю.Ф. Филиппов

ФГБУН «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН», Новосибирск, Россия;
PhilippovYF@ipgg.sbras.ru

Поступила 13.03.2018 г.

Принята к печати 18.04.2018 г.

Ключевые слова: *Западная Сибирь; Предъенисейский осадочный бассейн; верхнепротерозой-палеозойские отложения; палеорекострукции; нефтегазоносность.*

По результатам региональной сейсморазведки и бурения скважин под мезо-кайнозойским чехлом Западно-Сибирской геосинеклизы выделяется верхнепротерозой-нижнепалеозойский Предъенисейский осадочный бассейн. Комплексный анализ новых геолого-геофизических данных позволил уточнить сейсмогеологическую модель осадочных комплексов, включая сейсмогеологические разрезы, структурные и геологические карты. В статье обосновывается геологическая модель, рассматривающая верхнепротерозой-палеозойский осадочный комплекс в качестве чехольных образований Касско-Туруханского микроконтинента. Выполнены палеогеографические реконструкции на вендский и кембрийские этапы и литолого-фациальный анализ потенциальных резервуаров в осадочных комплексах бассейна. Анализ погружений осадочных толщ с учетом геотермических градиентов и данных пиролитических исследований органического вещества позволил уточнить условия генерации и сохранности потенциальных залежей углеводородов. Сделан предварительный прогноз потенциальной нефтегазоносности бассейна.

Для цитирования: Филиппов Ю.Ф. Геологическая модель Предъенисейского верхнепротерозой-палеозойского осадочного бассейна на юго-востоке Западно-Сибирской провинции // Геология нефти и газа. – 2018. – № 4. – С. 53–62. DOI: 10.31087/0016-7894-2018-4-53-62.

Geological model of the Pre-Yenisei Proterozoic – Palaeozoic sedimentary basin in the south-east of the West Siberian Province

© 2018 | Yu.F. Filippov

IPGG SB RAS, Novosibirsk, Russia; PhilippovYF@ipgg.sbras.ru

Received 13.03.2018

Accepted for publication 18.04.2018

Key words: *Western Siberia; Pre-Yenisei sedimentary basin; Upper Proterozoic-Palaeozoic deposits; backstripping; hydrocarbon potential.*

On the results of regional seismic surveys and drilling wells, the development of gently dislocated Upper Proterozoic and Lower Palaeozoic deposits of sub-platform type is substantiated; they occur below the Mesozoic-Cenozoic sedimentary cover in the east of the West Siberian geosyncline and form the Pre-Yenisei sedimentary basin. Integrated analysis of new geological and geophysical data, including geoseismic sections, depth and geological maps, allowed updating a geoseismic model of sedimentary sequences. The paper discusses geodynamic evolution of western margin of the Siberian Craton during Neoproterozoic and Palaeozoic. Geological model is substantiated, which considers the Upper Proterozoic - Palaeozoic sedimentary sequence as the cover-belonging formations of the Kassky-Turukhansky microcontinent (solid massif) identified here. As a result of collision processes in Cryogenian, it was consolidated with marginal parts of the Siberian Platform, and from the Late Neoproterozoic they were developing as a single structure. According to this interpretation, in the Cambrian the western regions of the basin made a part of the active margin of the backarc (marginal) basin; in its back part it was changing to epiplatform basin. Backstripping for Vendian and Cambrian stages was conducted, as well as lithofacies analysis of prospective reservoirs in sedimentary sequences of the basin. Analysis of sedimentary deposits downwarping according to geothermal gradients and pyrolysis studies of organic matter allowed updating the historical context of prospective hydrocarbon pools generation and preservation. The preliminary prediction of hydrocarbon potential of the basin was performed.

For citation: Filippov Yu.F. Geological model of the Pre-Yenisei Proterozoic – Palaeozoic sedimentary basin in the south-east of the West Siberian Province. *Geologiya nefi i gaza = Oil and gas geology.* 2018;(4):53–62. DOI: 10.31087/0016-7894-2018-4-53-62.

Осадочные комплексы

На юго-востоке Западной Сибири в последние годы выделены Предъенисейская нефтегазоносная субпровинция и одноименный осадочный бассейн (рис. 1), домезозойская часть которого по сейсмичес-

ким материалам и данным бурения подразделяется на два структурных подэтажа (яруса) ([1, 2] и др.).

Верхний ярус сохранился в северных частях бассейна и представлен пермотриасовым комплексом мощностью более 1000 м. Нижний структурный ярус

FORMATION AND LOCATION OF OIL AND GAS POOLS

Рис. 1. Схема геолого-геофизической изученности южной части Предъенисейского осадочного бассейна

Fig. 1. Map of exploration maturity of the southern part of the Pre-Yenisei sedimentary basin

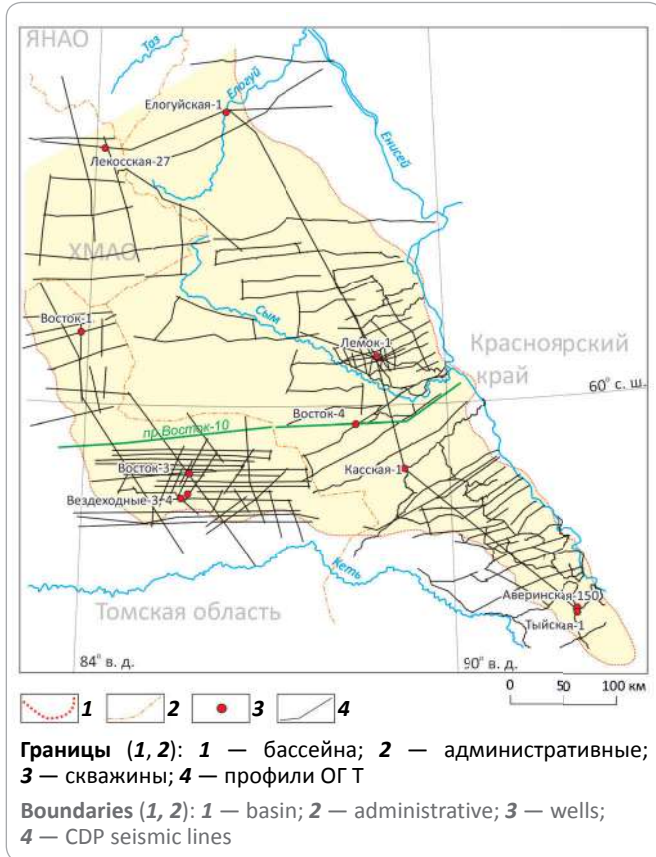
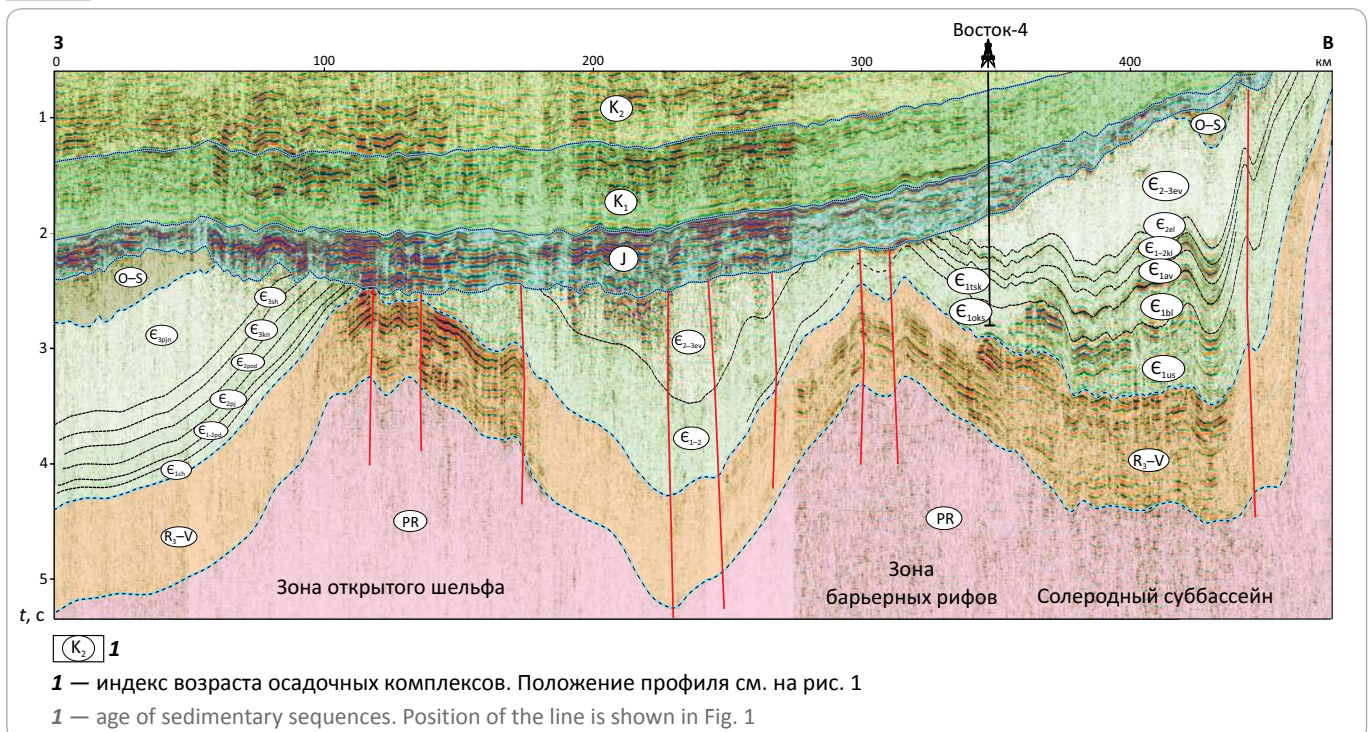


Рис. 2. Сейсмогеологический разрез вдоль регионального профиля Восток-10

Fig. 2. Geoseismic section along the regional line Vostok-10

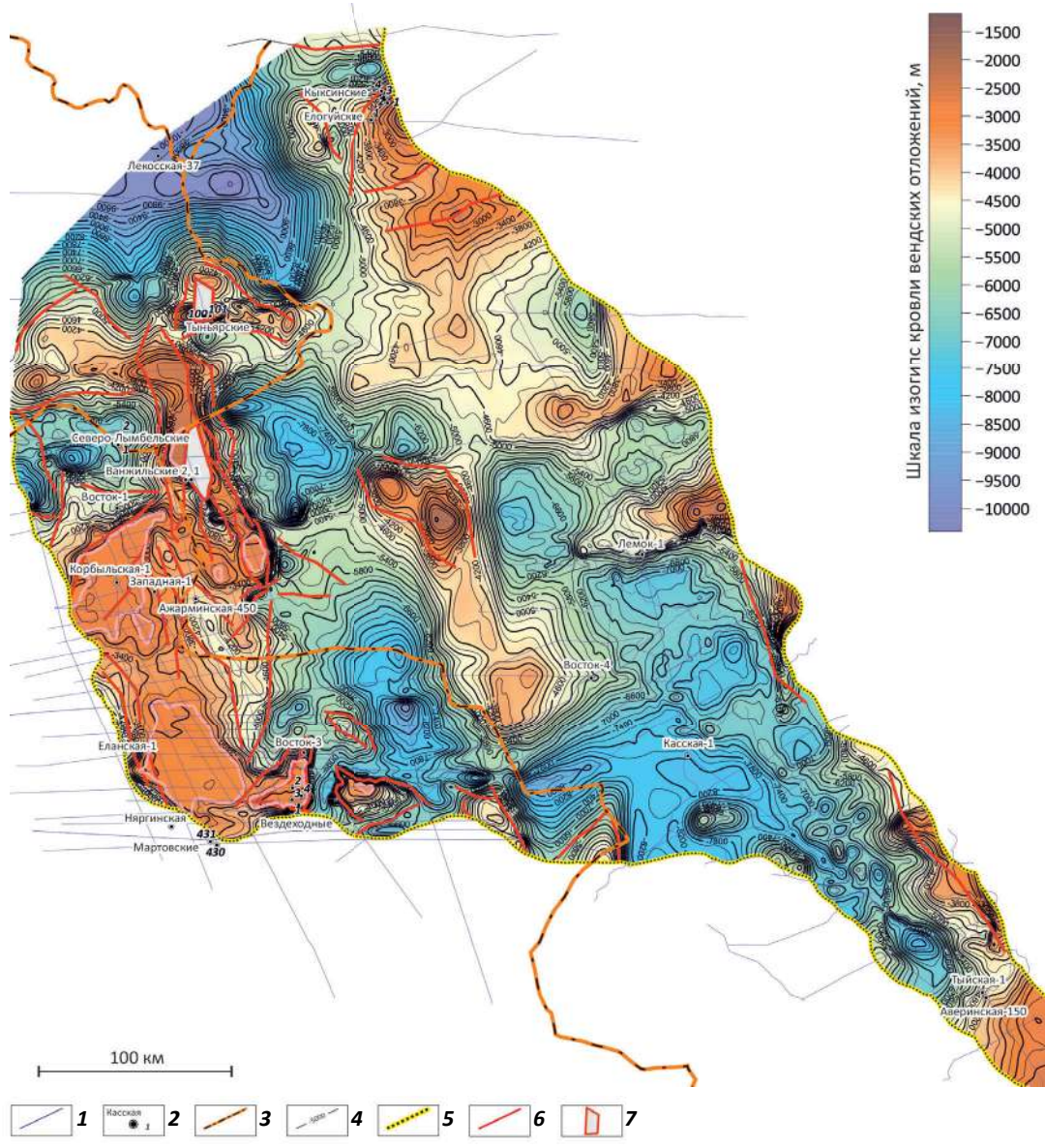


сложен неопротерозой-нижнепалеозойскими отложениями и подразделяется на пять согласно залегающих комплексов (рис. 2).

Неопротерозойский (верхнерифей-нижневендский в отечественной стратиграфической шкале) нерасчлененный комплекс мощностью от 1000 до 3000 м скважинами не вскрыт, но, по-видимому, он аналогичен верхнерифей-вендским терригенно-карбонатным отложениям Енисейского кряжа. Расчленение и корреляция венд-кембрийских комплексов стали возможными благодаря детальному палеонтологическому, седиментологическому изучению и анализу ГИС разрезов новых глубоких скважин и естественных обнажений на левобережье р. Енисей.

Верхняя часть неопротерозоя (верхневендский комплекс) мощностью более 1000 м вскрыта скв. Аверинская-150, где она представлена сульфатно-карбонатными породами позднего венда. На западе (скв. Восток-3) комплекс сложен карбонатными (нередко биогермными) отложениями пойгинской, райгинской и котоджинской свит общей мощностью более 1100 м. Нижне-верхнекембрийский существенно карбонатный комплекс, вскрытый скважинами Лемок-1, Аверинская-150, Тыйская-1, Восток-1, 3, 4, имеет мощность в среднем около 2000 м. В составе комплекса выделены как известные, так и новые свиты (и толщи): усольская, оксымская, чурбигинская, тыйская, бельская, аверинская, пайдугинская, кольчумская, елогуйская, эвенкийская, пуджелгинская, поделгинская, кондесская, шеделгинская, малоомутлинская.

Рис. 3. Структурная карта по кровле вендских отложений
Fig. 3. Depth map over the Vendian Top



1 — линии сейсмических профилей; 2 — скважины и названия площадей; 3 — административная граница; 4 — изогипсы кровли вендских отложений; 5 — границы бассейна; 6 — разломы; 7 — зона отсутствия верхних частей вендских отложений
 1 — seismic lines; 2 — wells and areas names; 3 — administrative border; 4 — structural contours of Vendian deposits; 5 — basin borders; 6 — faults; 7 — zone of absence of the upper part of Vendian deposits

Верхнекембрийский карбонатно-терригенный комплекс представлен пестроцветными терригенными и глинисто-карбонатными породами верхней подбиты эвенкийской свиты (пыжинской свиты) неполной мощности от 450 до 1350 м. В верхней части нижнего структурного этажа спорадически залегает ордовик-силурийский(?) глинисто-карбонатный комплекс, вскрытый и палеонтологически охарактеризованный в северной части бассейна скв. Лекоская-27 (мощность 560 м).

По результатам анализа и интерпретации сейсмогеологических материалов были построены струк-

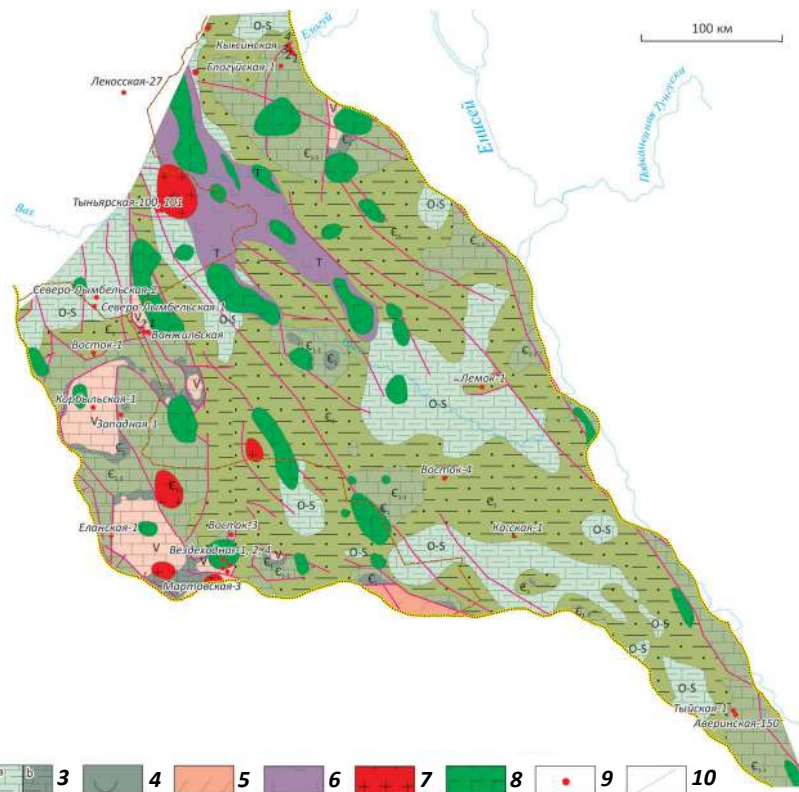
турные карты по ряду стратиграфических уровней (рис. 3), а также геологическая карта доюрских комплексов (рис. 4).

Палеогеографические реконструкции

Анализ сейсмических и палеогеографических материалов во временном диапазоне от позднего венда до позднего кембрия включительно позволяет сделать вывод о длительном существовании на территории Предъенисейского бассейна трех фациальных областей [3]. Ведущая роль принадлежит области развития барьерных рифов, протянувшейся в виде

FORMATION AND LOCATION OF OIL AND GAS POOLS

Рис. 4. Геологическая карта со снятым мезо-кайнозойским чехлом
 Fig. 4. Subcrop geologic map (without Mesozoic-Cenozoic cover)



Отложения (1–7): 1 — преимущественно терригенные позднекембрийского возраста, 2 — преимущественно карбонатные кембрийского (а) и вендского (b) возраста, 3 — преимущественно терригенно-карбонатные ордовик-силурийского (а) и кембрийского (b) возраста, 4 — преимущественно соленосные раннекембрийского возраста (усольская свита), 5 — преимущественно глинисто-кремнистые метаморфизованные позднепротерозойского возраста; 6 — преимущественно эффузивные основного состава триасового возраста; **интрузивные тела, предполагаемые по геофизическим данным (7, 8):** 7 — кислого состава, 8 — основного состава; 9 — скважины, вскрывшие доюрские отложения; 10 — геологические границы.

Остальные усл. обозначения см. на рис. 3

Deposits (1–7): 1 — mainly Late Cambrian terrigenous, 2 — mainly carbonate of Cambrian (a) and Vendian (b) age, 3 — mainly terrigenous-carbonate of Ordovician-Silurian (a) and Cambrian (b) age, 4 — mainly Early Cambrian saliferous (Usol'cky Fm), 5 — mainly Late Proterozoic argillaceous-siliceous metamorphosed; 6 — mainly Triassic basic effusive; **intrusive bodies supposed according to geophysical data (7, 8):** 7 — acidic, 8 — basic; 9 — wells that penetrated pre-Jurassic deposits; 10 — geologic boundaries.

For other Legend items see Fig. 3

полосы северо-западного простираения шириной от 40 до 150 км. Заложение рифовой системы произошло, вероятно, в позднем венде (рис. 5).

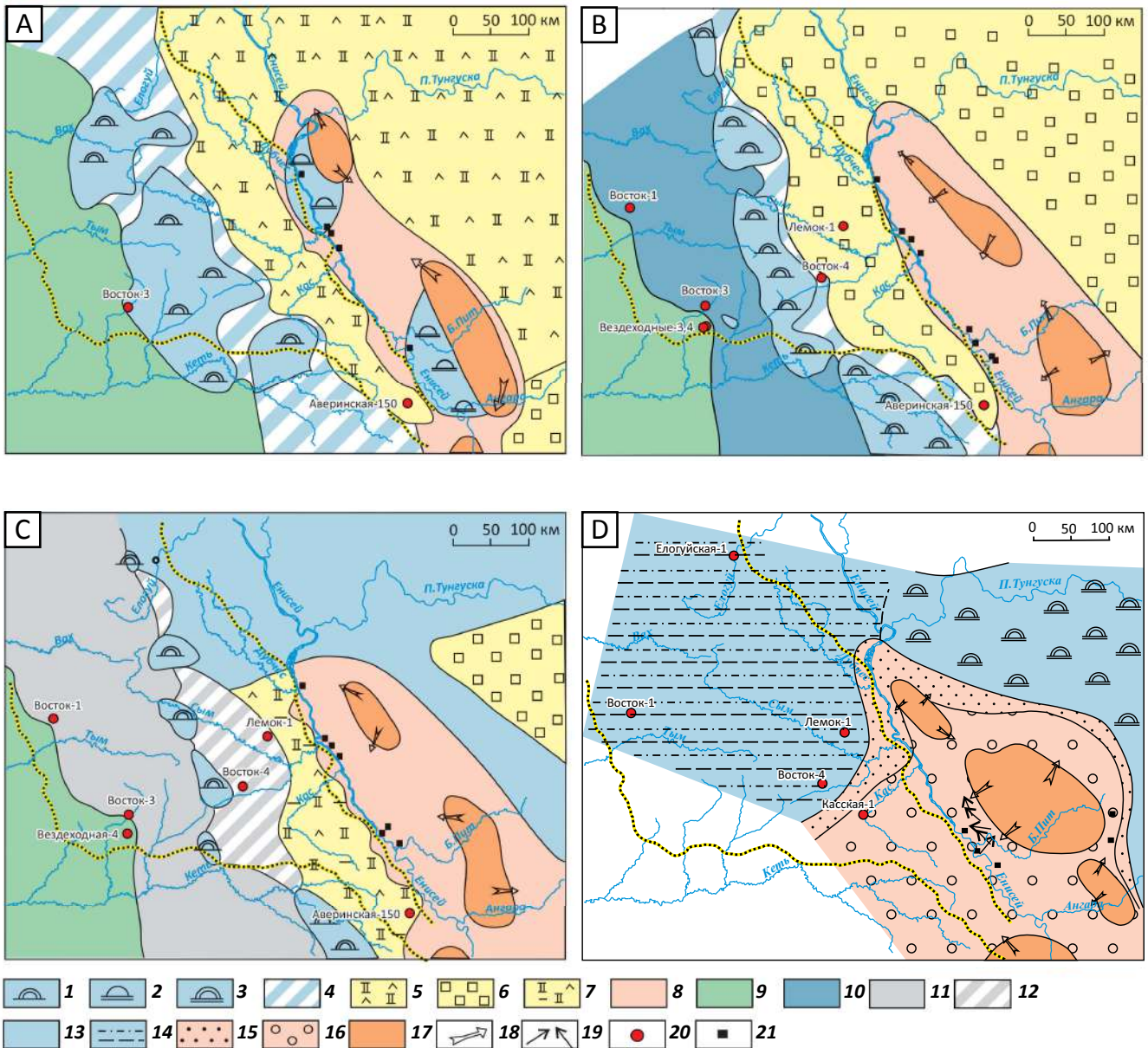
В поствендское время в результате контрастных тектонических движений, вызванных становлением на западе задугового бассейна, рифовая система приобрела несимметричное строение — крутой западный и более пологий восточный склон. На востоке от рифовой барьерной гряды в венде сформировался Предъенисейский солеродный суббассейн, являвшийся заливом Восточно-Сибирского солеродного бассейна. С венда до средней части позднего кембрия его осадконакопление контролировалось эвапоритовыми процессами, а также поступлением терригенного материала со стороны Енисейского архипелага (на месте Енисейского кряжа) и обломочного карбонатного материала с противоположной стороны — рифовой барьерной системы.

Начиная с раннего кембрия, в связи с эволюцией задугового бассейна, на крайнем западе Предъенисейского бассейна начинает быстро формироваться прогиб, который на начальных стадиях своего развития не компенсировался осадконакоплением. Максимум недокомпенсации пришелся на пайдугинское время.

Сложившаяся фациально-палеогеографическая обстановка привела к накоплению планктоногенных битумосодержащих осадков доманикового типа. Сохранению ОБ в осадках способствовало сероводородное заражение в придонном слое воды.

Начиная с позднеамгинского времени и до середины позднего кембрия предрифовой некомпенсированный прогиб быстро заполнялся осадками, к началу позднеэвенкийского (пыжинского) времени палеорельеф нивелировался. При этом на последних стадиях заполнения предрифового суббассейна в толще накапливаются мелководные осадки, среди

Рис. 5. Литолого-палеогеографические схемы Предъенисейского бассейна и смежных территорий Сибирской платформы (по [3])
 Fig. 5. Lithology and paleogeography schemes of the Pre-Yenisei Basin and neighbouring areas of the Siberian Platform (according to [3])



А — поздний венд (немакит-далдыньское время); В — ранний кембрий (усольское время); С — ранний — средний кембрий (пайдугинское время); D — поздний кембрий (поздnezвенкийское время).

Строматолитовые постройки (1–3): 1 — барьерные рифы, 2 — прибрежные (приостровные) рифы, 3 — банки; 4 — тыловые шлейфы рифовой системы (обломочные известняки, доломиты); **эвапоритовые отложения эпиконтинентального моря (5–7):** 5 — ангидрит-доломитовые, 6 — с преобладанием галита, 7 — глинисто-ангидрит-доломитовые; **отложения (8–16):** 8 — терригенные и обломочно-карбонатные (с признаками эвапоритизации) прибрежной зоны эпиконтинентального моря с изменчивой соленостью вод, 9 — терригенно-карбонатно-вулканогенные задугового (окраинного) бассейна, 10 — карбонатные открытого шельфа и континентального склона (передовые шлейфы рифовой системы, склоновые и бассейновые), 11 — черносланцевые глинисто-кремнистые, карбонатно-глинистые пиритсодержащие, 12 — углеродистые ангидрит-глинисто-карбонатные, 13 — известковые мелководного эпиконтинентального моря нормальной солености, 14 — карбонатно-алевритоглинистые эпиконтинентального моря нормальной солености, 15 — прибрежно-морские песчаные, 16 — нижней морской молассы (конгломераты, гравелиты, грубо-, крупнозернистые песчаники); 17 — область мобилизации и сноса (островная суша с расчлененным рельефом); 18 — общее направление сноса; 19 — направление палеотечений по замерам кривой слоистости; 20 — скважины; 21 — положение разрезов по естественным обнажениям.

Остальные усл. обозначения см. на рис. 3



FORMATION AND LOCATION OF OIL AND GAS POOLS

Усл. обозначения к рис. 5, окончание
Legend for Fig. 5, end.

Stromatolite buildups (1–3): 1 — barrier reefs, 2 — coastal (near-island) reefs, 3 — banks; 4 — back apron of reef system (clastic limestone, dolomite); **evaporite deposits of epicontinental sea (5–7):** 5 — anhydrite-dolomitic; 6 — with halite predominance, 7 — argillaceous-anhydrite-dolomitic; **deposits (8–16):** 8 — terrigenous and clastic-carbonate (slightly evaporated) of coastal zone of epicontinental sea with variable water salinity, 9 — terrigenous-carbonate-igneous of backarc (marginal) basin, 10 — carbonate of open shelf and continental slope (fore aprons of reef system, slope and basin), 11 — black-shale argillaceous-siliceous, carbonate-argillaceous pyritic, 12 — carboniferous anhydrite-argillaceous-carbonate, 13 — limestone of shallow epicontinental sea of normal salinity, 14 — carbonate-silty-argillaceous of epicontinental sea of normal salinity, 15 — sandy coastal-marine, 16 — lower marine molasse (conglomerate, gravelite, coarse-, hard-grained sandstone); 17 — area of mobilisation and transportation (onshore island with dissected topography); 18 — direction of general transportation; 19 — direction of paleocurrents according to measurements on cross-lamination; 20 — wells; 21 — position of cross-sections at natural exposures.

For other Legend items see Fig. 3

которых наиболее перспективными в отношении коллекторов являются оолитовые пески баровых отмелей и хорошо промытые обломочные карбонатные отложения, связанные с деструкцией рифовой гряды.

В позднеэвенкийское (пыжинское) время седиментация определялась выровненной поверхностью дна, на котором накапливались сравнительно мелководные карбонатно-алевритоглинистые тонкослоистые отложения.

Геодинамические реконструкции

По существующим представлениям, в мезопротерозое на территории древней Сибирской платформы (включая Енисейский кряж, Туруханский выступ и, вероятно, Касско-Туруханский микроконтинент) формировался плитный осадочный комплекс (рис. 6).

В мезопротерозое западнее Енисейского кряжа произошел разрыв континентальной коры с отделением Касско-Туруханского микроконтинента и в промежуточной зоне сформировались типичные океаническая кора и островные дуги. В это время на пассивных окраинах раздвигающихся континентальных масс образовался мощный клин глубоководных и мелководных терригенно-вулканогенных осадков турбидитового типа (сухопитская серия).

В середине неопротерозоя Касско-Туруханский микроконтинент и Сибирский кратон сближаются. В результате коллизии на рубеже около 800 млн лет сооружения Енисейского кряжа превратились в покровно-складчатые (Центрально-Ангарский террейн) [4–6], а в предэдиакарское время (700–630 млн лет) океанические и островодужные офиолиты (Исаковский террейн на западе Енисейского кряжа) были обдуцированы на западную окраину континента, дислоцированы и метаморфизованы [7]. Окраинные неопротерозойские комплексы Сибирской платформы и прилегающего микроконтинента сблизились, а на месте закрывшегося окраинного моря сформировалась субвертикальная сутурная зона, которая подтверждается геофизическими данными [6].

С этого возрастного рубежа западная граница Сибирского кратона совпадает с западной границей причленившегося к нему Касско-Туруханского микроконтинента. На континентальной окраине, ограниченной на западе Палеоазиатским океаном, формируется терригенно-карбонатный (а местами эвапоритовый) плитный комплекс, перекрывающий Касско-Туруханский микроконтинент (Предъенисейский осадочный бассейн), складчатые образования Енисейского кряжа и Туруханского выступа. К западу от Касско-Туруханского микроконтинента преобладали глубоководные океанические обстановки осадконакопления, соответствующие активным частям задуговых бассейнов. Остатки подобных образований вскрыты бурением, в частности на Вездеходной площади ([8] и др.).

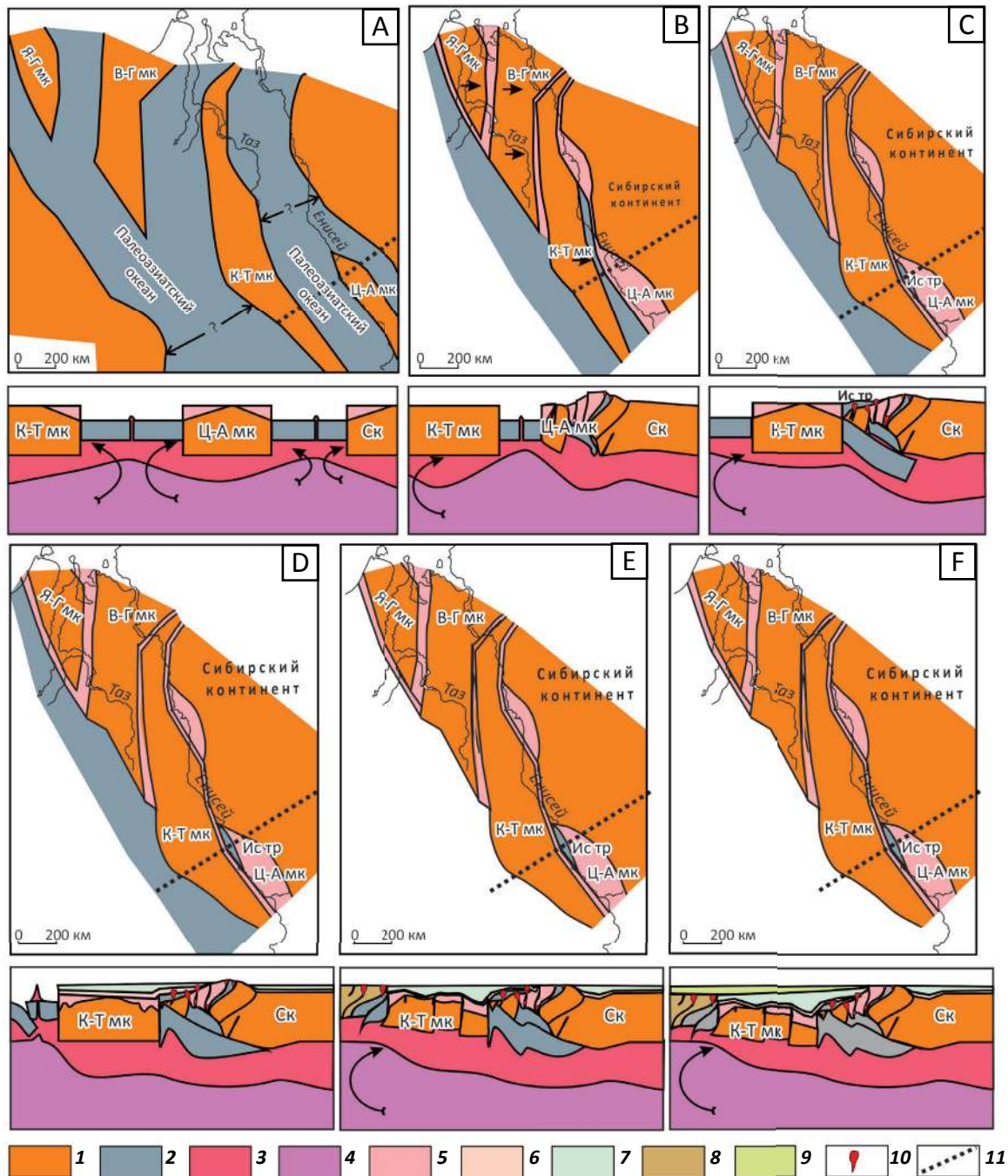
В позднекаледонское время тектоническая активность прилегающих с юга и запада Колывань-Томской и Алтае-Саянской складчатых зон обусловила некоторую структурную перестройку плитного комплекса в бассейне и привела к деформациям подсолевых комплексов, что, в свою очередь, вызвало проявление соляного тектогенеза в нижнекембрийской части разреза, выразившегося в образовании узких вытянутых валообразных поднятий северо-западной ориентировки, хорошо фиксируемых на сейсмических разрезах [9]. Кроме того, эти процессы, как отмечено, вероятно, привели к вторичным преобразованиям более ранних (кембрийских) вулканитов и, как следствие, их омоложению, определенному по абсолютным датировкам.

На рубеже позднего карбона – раннего триаса начались процессы, связанные с закрытием на западе Палеоазиатского океана (герцинский диастрофизм). В связи с этим территория Енисейского кряжа развивается как рамповое сводовое поднятие — по субвертикальным зонам разломов он воздымается в условиях сжатия. Процессы эрозии частично уничтожили здесь палеозойские, вендские образования и верхнюю часть разреза рифейских складчатых отложений вместе с офиолитовыми аллохтонами.

Нефтегазоносность

Кроме докембрийских комплексов к нефтематеринским отложениям относятся породы пайдугин-

Рис. 6. Схема геодинамического развития Предъенисейского осадочного бассейна
 Fig. 6. Scheme of geodynamic evolution of the Pre-Yenisei sedimentary basin



A — мезопротерозой (≈ 1 млрд лет); B — неопротерозой (ранний криогений) (850–750 млн лет); C — неопротерозой (поздний криогений) (750–630 млн лет); D — палеозой (ранний кембрий) (540–520 млн лет); E — поздний палеозой (250 млн лет); F — современное состояние.

1 — кратоны и микроконтиненты (Ск — Сибирский континент, Я-Г — Ямало-Гыданский, В-Г — Восточно-Гыданский, К-Т — Касско-Туруханский, Ц-А — Центрально-Ангарский; Ис — Исаковский террейн); 2 — океаническая кора; мантия (3, 4): 3 — литосферная, 4 — астеносферная; осадочные комплексы (5–9): 5 — мезо- и неопротерозой (до эдиакария), 6 — неопротерозой (эдиакарий), 7 — кембрийские, 8 — палеозойские, 9 — мезозойские; 10 — синколлизийные и постколлизийные интрузивные образования; 11 — линии разрывов

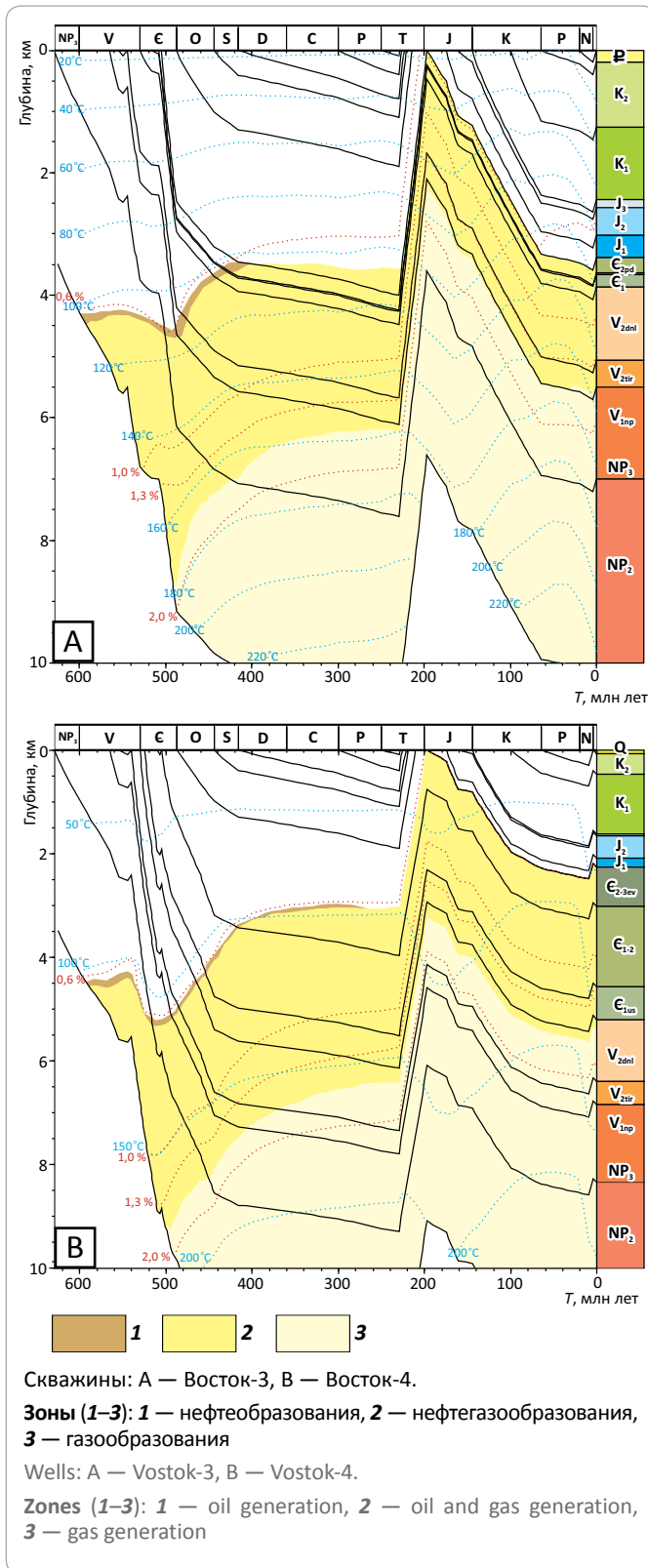
A — Mesoproterozoic (≈ 1 billion years); B — Neoproterozoic (Early Cryogenian) (850–750 mln yrs); C — Neoproterozoic (Late Cryogenian) (750–630 mln yrs); D — Palaeozoic (Early Cambrian) (540–520 mln yrs); E — Late Palaeozoic (250 mln yrs); F — current state.

1 — cratons and microcontinents (Ск — Siberian continent, Я-Г — Yamal-Gydan, В-Г — Eastern Gydan, К-Т — Kassy-Turukhansky, Ц-А — Central Angarsky; Ис — Isakovsky terrane); 2 — oceanic crust; mantle (3, 4): 3 — lithosphere, 4 — asthenosphere; sedimentary series (5–9): 5 — Meso- and Neoproterozoic (before Ediacaran), 6 — Vendian (Ediacaran), 7 — Cambrian, 8 — Palaeozoic, 9 — Mesozoic; 10 — syn-collision and post-collision intrusive formations; 11 — section lines

FORMATION AND LOCATION OF OIL AND GAS POOLS

Рис. 7. Результаты моделирования погружений осадочных комплексов, температур (T , °C), зрелости OB (R_o , %) и зон нефтегазообразования для различных районов бассейна

Fig. 7. Results of modelling of sedimentary series downwarping, temperatures (T , °C), OM maturity (R_o , %), and zones of oil and gas generation for different parts of the basin

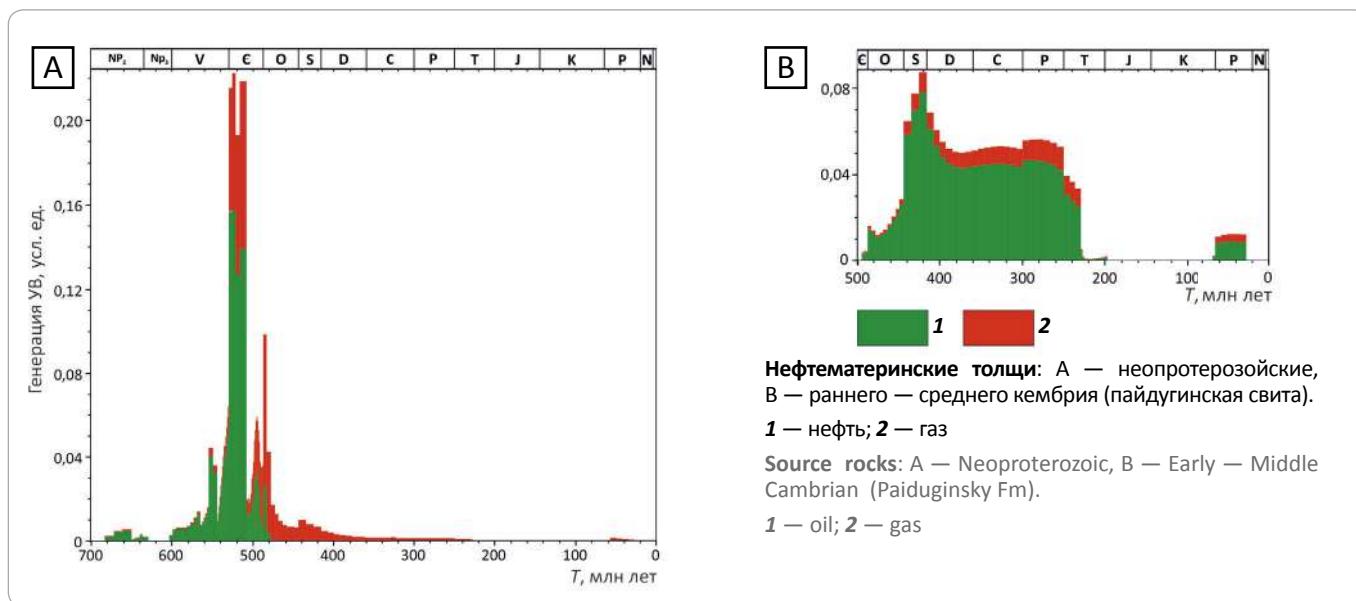


ской свиты, имеющие характерный для доманика литологический состав. Они распространены к западу от границы барьерной рифовой системы широкой полосой субмеридионального направления, достигая на севере района распространения однотипных углеродсодержащих отложений шумнинской свиты в Игаро-Норильской фациальной области. Мощность (неполная) пайдугинской свиты в разрезе скв. Восток-1 составляет около 120 м.

При общей оценке перспектив распространения коллекторов, природа которых напрямую связана с седиментационными и палеогеографическими закономерностями, наиболее важная роль отводится области развития барьерной рифовой системы (передовые и тыловые рифовые шлейфы с включениями краевых биогермных построек в разрезах скважин Восток-4, 1, 3). К потенциальным коллекторам в составе рифовой системы относятся также и горизонты развития карста, субсинхронного формированию рифа. Перспективы обнаружения коллекторов в двух других областях, разделенных рифовой системой, значительно ниже. В зарифовом соллеродном суббассейне интерес представляет область, непосредственно примыкающая к архипелагу островов на месте Енисейского кряжа. Здесь в качестве перспективных отложений рассматриваются прибрежные рифы, развивающиеся вблизи отдельных островов, а также близкие им по времени образования песчаные прибрежные толщи. В позднеэвенкийское (пыжинское) время после полной нивелировки предшествующих геоморфологических элементов на большом пространстве Предъенисейского бассейна формируются близкие по облику достаточно мелководные слоистые глинистые, карбонатно-глинистые, мергельные сульфатно-глинисто-карбонатные, тонкообломочные карбонатные отложения. Они являются региональным флюидоупором для залегающих ниже коллекторов, развитых на месте погребенной рифовой системы и оолитовых баровых слоев толщи заполнения.

Результаты проведенных исследований однозначно свидетельствуют о том, что в левобережье Енисея развит мощный верхнепротерозой-палеозойский осадочный бассейн субплатформенного типа. Мировой опыт показывает, что такие крупные бассейны обычно обладают значительными ресурсами углеводородов. В рассматриваемом Предъенисейском бассейне по результатам интерпретации геолого-геофизических материалов выделяется серия перспективных стратиграфических комплексов, содержащих высокопроницаемые резервуары и надежные флюидоупоры. В этих комплексах могли формироваться разнообразные по природе ловушки, способные концентрировать значительные объемы нефти и газа: антиклинальные, тектонически, литологически, стратиграфически экранированные, рифогенные и т. д.

Рис. 8. Гистограммы генерации УВ потенциально нефтематеринских толщ по результатам моделирования в скв. Восток-3
Fig. 8. Histograms of HC generation by the potential source rocks, on the results of modelling in the Vostok-3 well



Есть основания предполагать, что в бассейне имелись благоприятные геохимические предпосылки для генерации нефти и газа, их аккумуляции и частичного сохранения до настоящего времени. Скважинами Восток-1, 3 вскрыта высокоуглеродистая толща пайдугинской свиты, которая является аналогом нефтепроизводящей куонамской формации на Сибирской платформе. Кроме того, в скв. Лемок-1 в ряде интервалов разреза кембрия зафиксированы нефтепроявления. Эти факты, а также геохимический анализ ОВ и нафтидов, проведенный в ИНГТ СО РАН под руководством А.Э. Конторовича [10–12], свидетельствуют о том, что в отложениях бассейна происходили процессы миграции и аккумуляции углеводородов. Исследования показали, что источником углеводородов является планктонное и бактериогенное ОВ, захоронявшееся в морском бассейне с резко восстановительной средой. Наряду с явными свидетельствами генетической связи нафтидов, установленных в разрезе скв. Лемок-1, с морскими высокоуглеродистыми толщами, их химический состав имеет ряд особенностей, которые указывают на их позднекембрийский возраст, а значит и возраст нефтепроизводящих отложений. По составу углеводородов-биомаркеров они подобны нефтям из отложений рифея Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления [10].

В то же время, геохимические данные [10–12], пиролиз и результаты моделирования динамики генерации углеводородов свидетельствуют о высокой степени катагенетической преобразованности ОВ (от МК₃¹ до АК₃) и реализации генерационного ресурса докембрийских и кембрийских нефтематеринских толщ. К неблагоприятным факторам относятся значительные масштабы денудации, имевшие

место в герцинское время, воздействие интрузий, развитых во флангах бассейна, древний возраст формирования потенциальных залежей и, как следствие, риски, связанные с их сохранностью в течение длительного периода.

Выполненный анализ погружений осадочных толщ с учетом геотермических градиентов и данных пиролитических исследований ОВ позволил уточнить исторические условия генерации и сохранности потенциальных залежей углеводородов (рис. 7, 8).

Данные свидетельствуют о том, что ОВ кембрия достигло нынешнего уровня катагенеза задолго до начала мезозойского осадконакопления и погружалось на значительно большую глубину, чем современные. Такой катагенез должен был привести к исчерпанию ОВ (прошедшего главную фазу нефтеобразования и глубинную газообразования) своего генерационного потенциала, генерации значительного количества в начале жирного конденсатного газа, а при дальнейшем катагенезе — метана. В условиях высоких температур и давлений деструкции и крекингу должны были подвергнуться и нефти в залежах. Оба эти процесса наверняка имели место, неясным остается вопрос лишь о полноте их разрушения.

В ИНГТ СО РАН была выполнена предварительная количественная оценка верхнепротерозой-палеозойских отложений Предъенисейского осадочного бассейна. Согласно мировой практике, при количественной оценке перспектив нефтегазоносности слабоизученных бассейнов, в которых отсутствуют месторождения нефти и газа, использовалась одна из модификаций метода внешних аналогий — объемно-статистический метод. Определение эффективного объема осадочного выполнения Предъенисейского бассейна в целом и каждого комплекса было



FORMATION AND LOCATION OF OIL AND GAS POOLS

выполнено с учетом структурных построений. Предварительные расчеты Л.М. Бурштейна (ИНГГ СО РАН) показывают, что суммарные геологические ресурсы бассейна могут составлять более 4 млрд т УВ, а извлекаемые — около 2,8 млрд т. При этом на ресурсы неф-

ти приходится 1,5 млрд т (0,3 млрд т — извлекаемые), а газа — 2,3 трлн м³. Эти оценки могут существенно варьировать по мере уточнения геологической информации, в частности объемов потенциальных нефтепроизводящих толщ.

Литература

1. Конторович А.Э., Конторович В.А., Филиппов Ю.Ф., Беляев С.Ю., Бурштейн Л.М., Вальчак В.И., Евграфов А.А., Ефимов А.С., Каштанов В.А., Конторович А.А., Петров В.Н., Хоменко А.В. Предъенисейская нефтегазовая провинция — новый перспективный объект поисков нефти и газа в Сибири // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2006. — № 5–6. — С. 9–23.
2. Филиппов Ю.Ф. Предъенисейский осадочный бассейн: сейсмогеологическая модель и геодинамическая эволюция // Геология и геофизика. — 2017. — Т.58. — № 3–4. — С. 455–471.
3. Сараев С.В., Филиппов Ю.Ф., Батурина Т.П. Палеогеография Предъенисейского осадочного бассейна в венде и кембрии // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории: мат-лы VII Всероссийского литологического совещания (Новосибирск, 28–31 октября 2013 г.): в 3 т. — Новосибирск : Изд-во ИНГГ СО РАН, 2013. — Т. 3. — С. 73–76.
4. Верниковский В.А., Верниковская А.Е., Ножкин А.Д., Пономарчук В.А. Рифейские офиолиты Исаковского пояса, Енисейский кряж // Геология и геофизика. — 1994. — Т. 35. — № 7–8. — С. 169–181.
5. Волобуев М.И. Рифейский офиолитовый комплекс Енисейского кряжа // Геотектоника. — 1993. — № 6. — С. 82–87.
6. Сурков В.С., Коробейников В.П., Крылов С.В., Гришин М.П., Краевский Б.Г., Ларичев А.И. Геодинамические и седиментационные условия формирования рифейских нефтегазоносных комплексов на западной окраине Сибирского палеоконтинента // Геология и геофизика. — 1996. — Т. 37. — № 8. — С. 154–165.
7. Верниковский В.А., Казанский А.Ю., Матушкин Н.Ю., Метелкин Д.В., Советов Ю.К. Геодинамическая эволюция складчатого обрамления и западная граница Сибирского кратона в неопротерозое: геолого-структурные, седиментологические, геохронологические и палеомагнитные данные // Геология и геофизика. — 2009. — Т. 50. — № 4. — С. 502–519.
8. Конторович А.Э., Сараев С.В., Казанский А.Ю., Каштанов В.А., Конторович В.А., Пономарчук В.А., Тищенко В.М., Филиппов Ю.Ф. Новый терригенно-вулканогенный разрез кембрия и положение западной границы Сибирской платформы (по материалам параметрического бурения на Вездеходной площади, Томская область) // Геология и геофизика. — 1999. — Т. 40. — № 7. — С. 1022–1031.
9. Филиппов Ю.Ф., Лапковский В.В., Лунев Б.В. Численное моделирование соляного тектогенеза в кембрийских отложениях Предъенисейского осадочного бассейна (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. — 2009. — Т. 50. — № 2. — С. 127–136.
10. Конторович А.Э., Костырева Е.А. Нафтиды кембрия Предъенисейской субпровинции // Геология нефти и газа. — 2011. — № 5. — С. 73–77.
11. Конторович А.Э., Костырева Е.А., Сараев С.В., Меленевский В.Н., Фомин А.Н. Геохимия органического вещества кембрия Предъенисейской субпровинции Сибири (по результатам бурения скважин Восток-1 и Восток-3) // Геология и геофизика. — 2011. — Т. 52. — № 6. — С. 737–750.
12. Конторович А.Э., Костырева Е.А., Сараев С.В., Меленевский В.Н., Фомин А.Н. Литология и органическая геохимия венда Предъенисейской субпровинции (по результатам бурения скв. Восток-3) // Геология и геофизика. — 2011. — Т.52 — № 9. — С. 1213–1221.

References

1. Kontorovich A.E., Kontorovich V.A., Filippov Yu.F., Belyaev S.Yu., Burshtein L.M., Val'chak V.I., Evgrafov A.A., Efimov A.S., Kashtanov V.A., Kontorovich A.A., Petrov V.N., Khomenko A.V. Pre-Yenisei petroleum subprovince as a new promising exploration target in Siberia. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii*. 2006;(5–6):9–23.
2. Filippov Yu.F. The Fore-Yenisei sedimentary basin: Seismic-geological model and geodynamic history. *Russian Geology and Geophysics*. 2017;58(3–4):371–383.
3. Saraev S.V., Filippov Yu.F., Baturina T.P. Vendian and Cambrian paleogeography of the Pre-Yenisei sedimentary basin. *Osadochnye basseiny, sedimentatsionnye i postsedimentatsionnye protsessy v geologicheskoi istorii: mat-ly VII Vserossiiskogo litologicheskogo soveshchaniya* (Novosibirsk, 28–31 oktyabrya 2013). Novosibirsk: Izd-vo INGG SO RAN; 2013. Vol. 3. pp. 73–76.
4. Vernikovskii V.A., Vernikovskaya A.E., Nozhkin A.D., Ponomarchuk V.A. Riphean ophiolite of the Isakovskiy Belt, the Yenisei Ridge. *Geologiya i geofizika*. 1994;35(7–8):169–181.
5. Volobuev M.I. Riphean ophiolite series of the Yenisei Ridge. *Geotektonika*. 1993;(6):82–87.
6. Surkov V.S., Korobeinikov V.P., Krylov S.V., Grishin M.P., Kraevskii B.G., Larichev A.I. Geodynamic and sedimentary settings of Riphean plays formation in the western margin of the Siberian paleocontinent. *Geologiya i geofizika*. 1996;37(8):154–165.
7. Vernikovskii V.A., Kazanskii A.Yu., Matushkin N.Yu., Metelkin D.V., Sovetov Yu.K. The geodynamic evolution of the folded framing and the western margin of the Siberian craton in the Neoproterozoic: eological, structural, sedimentological, geochronological, and paleomagnetic data. *Russian Geology and Geophysics*. 2009;50(4):372–387.
8. Kontorovich A.E., Saraev S.V., Kazanskii A.Yu., Kashtanov V.A., Kontorovich V.A., Ponomarchuk V.A., Tishchenko V.M., Filippov Yu.F. New Cambrian terrigenous-volcanogenic section and position of the western border of Siberian Platform (on the results of stratigraphic drilling in the Vezdekhodny area, Tomsk Oblast). *Geologiya i geofizika*. 1999;40(7):1022–1031.
9. Filippov Yu.F., Lapkovskii V.V., Lunev B.V. Numerical modeling of salt tectogenesis in the Cambrian deposits of the cis-Yenisei sedimentary basin (PR3-PZ) (West Siberia). *Russian Geology and Geophysics*. 2009;50(2):96–103.
10. Kontorovich A.E., Kostireva E.A. Cambrian naphthydes of Enisei subprovince. *Geologiya nefiti i gaza*. 2011;(5):73–77.
11. Kontorovich A.E., Kostyрева E.A., Saraev S.V., Melenevskii V.N., Fomin A.N. The geochemistry of Cambrian organic matter from the Cis-Yenisei subprovince (evidence from the wells Vostok-1 and Vostok-3). *Russian Geology and Geophysics*. 2011;52(6):571–582.
12. Kontorovich A.E., Kostyрева E.A., Saraev S.V., Melenevskii V.N., Fomin A.N. The lithology and organic geochemistry of the Vendian deposits in the Cis-Yenisei subprovince (from the results of the well Vostok-3). *Russian Geology and Geophysics*. 2011;(9):955–962.