

УДК 552.5

DOI 10.31087/0016-7894-2022-5-51-61

Литологический состав и обстановки накопления нижневендских отложений на юго-западном склоне Непского свода (Восточная Сибирь)

© 2022 г. | М.Д. Балагуров^{1,2}¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; maxim_balagurov@mail.ru;²ООО «Арктический научный центр», Москва, Россия

Поступила 20.06.2022 г.

Доработана 19.08.2022 г.

Принята к печати 22.08.2022 г.

Ключевые слова: вендские отложения; литология; песчаники; эвапориты; минеральные ассоциации; засоленность; акустический импеданс.

Аннотация: На территории одного из крупных нефтегазовых месторождений Восточной Сибири, расположенного в юго-западной части Непского свода, было выполнено поисково-разведочное бурение с полным отбором керна из основных нефтегазоносных интервалов, в том числе получен керновый материал из нижней части осадочного чехла, сложенного вендскими осадочными отложениями непской свиты. По керну были проведены лабораторные исследования для детальной характеристики интервалов развития слабозасолоненных коллекторов в разрезе нижневендских пород нижненепской подсвиты, которые являются объектом исследования в представленной статье. В данной статье освещаются результаты преимущественно лабораторных исследований литологического состава нижненепских пород. В разрезах скважин выделена последовательность циклопачек, слагающих базальную, среднюю и верхнюю толщи нижненепской подсвиты. Каждая группа пород отличается различными литолого-седиментологическими характеристиками, коллекторскими свойствами, степенью засоленности и глинизации. Наиболее засолены и карбонатизированы мелко- и среднезернистые мезомиктовые песчаники средней толщи подсвиты, в меньшей степени — мелкозернистые аркозовые песчаники верхней толщи. Ряд относительно близкорасположенных скважин в центральном секторе площади исследования похож высоким содержанием минералов преимущественно сульфатной группы эвапоритов и карбонатных минералов в составе пород средней толщи нижненепской подсвиты. Среди карбонатных минералов преобладает доломит, которым нацело сложены отдельные пропластки. Он также присутствует в виде цемента в линзах и прослоях песчаников, в отдельных образцах его содержание превышает 90 %. В скважине, пробуренной на периферии участка в западном секторе района исследований, характер разреза в интервале средней толщи существенно отличается. Были вскрыты обломочные отложения, преимущественно засоленные галитом по всему разрезу исследуемого интервала. На основе комплексного анализа имеющихся геолого-геофизических данных охарактеризован литологический состав пород и установлены интервалы развития солей в разрезах скважин, а также предложен методический подход в целях прогноза зон засоленности терригенных пород и зон, перспективных для поисково-разведочного бурения, применение которого возможно уже на этапе начальной интерпретации материалов сейсморазведки 3D.

Для цитирования: Балагуров М.Д. Литологический состав и обстановки накопления нижневендских отложений на юго-западном склоне Непского свода (Восточная Сибирь) // Геология нефти и газа. – 2022. – № 5. – С. 51–61. DOI: 10.31087/0016-7894-2022-5-51-61.

Lower Vendian deposits in south-western slope of Nepsky Arch (Eastern Siberia): lithology and depositional settings

© 2022 | M.D. Balagurov^{1,2}¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; maxim_balagurov@mail.ru;²Arctic Research Center, Moscow, Russia

Received 20.06.2022

Revised 19.08.2022

Accepted for publication 22.08.2022

Key words: Vendian deposits; lithology; sandstone; evaporite; mineral assemblage; salinization; Acoustic Impedance.

Abstract: In one of the large East Siberian oil and gas field situated in the south-western part of the Nepsky Arch, exploratory drilling with total coring of the main oil and gas bearing intervals was carried out, including the coring of the basal part of sedimentary cover composed of the Nepsky Fm Vendian sediments. The core was subjected to laboratory studies with the purpose of detailed description of the lightly saline Lower Vendian Nizhnenepsky reservoir intervals, and they are the subject of research in this work. This paper mainly presents the results of the laboratory studies of the Nizhnenepsky rock lithology. A sequence of the cycle members composing the basal, middle, and upper series of the Nizhnenepsky Member is identified. Each rock group has different lithological and sedimentological characteristics, reservoir properties, degree of salinization and silting. Fine- and medium grained mesomictic sandstone from the middle section of the member are the most saline and carbonated, and fine-grained arkosic sandstone of the upper section are lesser saline and carbonated.

A number of relatively approximate wells in the center of the study area are similar in terms of high content of mainly sulphate group of evaporites and carbonate minerals in the rocks of the middle section of the Nizhnenepesky Member. Among the carbonate minerals, dolomite that entirely composes individual layers is dominating. It is also present as cement in sandstone lenses and interlayers, in certain samples its content exceeds 90 %. In the well drilled in the marginal western segment of the study area, the section pattern in the middle interval is markedly different. Clastic halite-saline deposits were encountered throughout the section of the target interval. Basing on the integrated analysis of the available geological and geophysical data, lithologies of the rocks are described, and salt occurrence intervals are identified in the well columns. In addition, a methodological approach to predicting zones of salinization of terrigenous rocks and zones promising for exploratory drilling is proposed that can be used as early as the initial interpretation of 3D seismic data.

For citation: Balagurov M.D. Lower Vendian deposits in south-western slope of Nepsky Arch (Eastern Siberia): lithology and depositional settings. *Geologiya nefi i gaza*. 2022;(5):51–61. DOI: 10.31087/0016-7894-2022-5-51-61. In Russ.

Введение

Сегодня Восточная Сибирь — один из центров добычи УВ-сырья в России. Наиболее изученным геолого-геофизическими работами и перспективным на наличие залежей нефти и газа районом Восточной Сибири является территория Непского свода, где в настоящее время открыты десятки крупных и мелких месторождений.

Объектом исследований являются нефтегазные нижневендские терригенные отложения нижненепской подсвиты, залегающие в основании разреза осадочного чехла юго-западного склона Непского свода. Их сложное геологическое строение освещалось в трудах многих исследователей: В.В. Самсонова (1965, 1969, 1975), Г.Б. Сальмана, Р.Г. Дорошко, Л.И. Несмеяновой, Н.А. Кицис (1968), И.П. Карасева (1971), И.А. Верещако, В.Ф. Горбачева, Ю.А. Пригулы (1975), В.Б. Корнева, Ю.С. Кувыкина (1975), Г.Х. Дикинштейна, В.В. Семеновича (1977), С.Л. Артюнова, О.Н. Карасева, В.Н. Юркова (1977), Н.М. Музыченко, Ю.В. Самсонова, А.Н. Дмитриевского (1980), Л.Н. Фомичевой (1984), Н.В. Мельникова (1984) и др.

Трудности в освоении уже открытых залежей УВ связаны с литологической неоднородностью нижневендских пород, обусловленной их фациальной изменчивостью и значительной степенью трансформации в диа- и катагенезе. Наличие эффективных толщин по скважинам, а значит, и их продуктивность определяются главным образом вторичными преобразованиями осадочных отложений, среди которых ключевую роль играют галитизация и ангидритизация [1]. Обнаружение новых залежей УВ осложняется отсутствием традиционных структурных ловушек. В связи с этим актуальность приобретают палеогеографические реконструкции осадконакопления, основанные на новых геолого-геофизических данных, учитывающих структурно-текстурные особенности и минеральный состав нижневендских отложений, за счет которых образованы природные резервуары в пределах площади исследования (рис. 1).

Для обеспечения прогноза зон засоления нижневендских пород и зон распространения пород-коллекторов с лучшими фильтрационно-емкостными свойствами проведены следующие работы: литолого-седиментологическое описание

пород, анализ фильтрационно-емкостных свойств потенциальных пород-коллекторов, а также построение структурно-тектонической модели площади исследования и динамический анализ сейсмического волнового поля. Данная статья освещает результаты преимущественно литологических исследований.

Входные данные и методы исследований

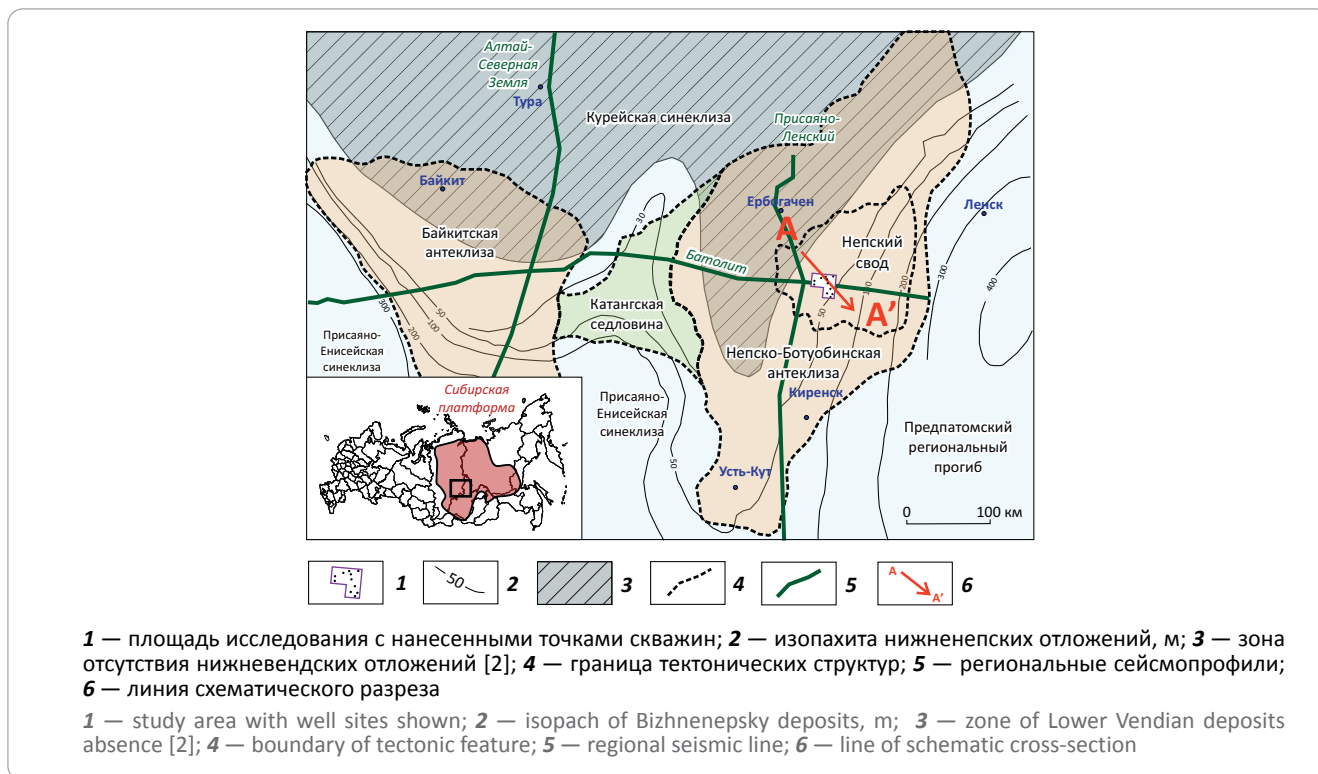
В статье приведен комплекс литологических, петрофизических и геофизических исследований.

Литологические исследования включают: описание керн и шлифов; гранулометрический, минералогический и химический анализы состава пород; исследование структуры пустотного пространства пород-коллекторов методами оптической электронной микроскопии. Изучены разрезы скважин, при бурении которых проводился полный отбор керн. В результате лабораторных исследований образцов керн получены данные об их вещественном составе и характере постседиментационных изменений.

Петрофизические исследования включают расчет пористости и проницаемости отложений, в частности образцов пород до и после растворения галита из их порового пространства, а также съемку этих образцов методом компьютерной томографии. В комплексе с полученными результатами лабораторных исследований керн используются результаты интерпретации геофизических исследований скважин (РИГИС), в том числе методов широкополосного акустического и плотностного каротажа. Это позволяет подтвердить предположение о разделении свойств пород-коллекторов и неколекторов, а также их засоленных разностей в полях упругих параметров — отношения скорости продольных и поперечных волн (V_p/V_s) и акустического импеданса ($V_p \cdot \rho$, $V_s \cdot \rho$), а также дает возможность дальнейшего прогноза зон засоления пород с использованием данных сейсморазведки.

Геофизические исследования включают интерпретацию сейсмических данных МОГТ-3D, расчет кубов акустических и синхронных инверсий, динамический анализ сейсмических данных, что в комплексе со всеми результатами работ обеспечивает непосредственный прогноз зон засоления нижненепских пород в пространстве.

Рис. 1. Схема района исследований с наложенными изопактами нижневендских пород
Fig. 1. Location map of the study area with superimposed isopachs of Lower Vendian rocks



Литологические исследования

Нижненепская подсвита, изученная по керну скважин 1, 3, 4, 5 и 6, описана с применением анализа цикличности в масштабе 1:20 [3]. Это позволило рассмотреть элементарные циклиты толщиной от 0,2 м, затем выделить циклопачки толщиной 3–10 м и в них проанализировать распределение эвапоритов. Характерные последовательности циклопачек (ЦП) группируются в толщи — базальную, среднюю и верхнюю, толщина которых варьирует от 3 до 25 м (рис. 2).

В данном случае это циклиты высшего порядка, в составе и строении которых отражены этапы седиментации раннего венда — начальный, средний и поздний соответственно. Реконструкция обстановок осадконакопления основана на выделении генетических типов отложений по комплексу литологических признаков, типу породных последовательностей [4, 5] с учетом региональных палеогеографических построений [2, 6].

Начальный этап на площади исследования ознаменовался накоплением в низах базальной толщи красноцветного песчано-глинистого делювия (ЦП-I, глубина залегания 1715–1800 м) и пестроцветного дресвяно-глинисто-песчаного коллювия (ЦП-II, глубина залегания 1710–1795 м) суммарной толщиной до 15 м. Эти осадочные отложения залегают с угловым и стратиграфическим несогласием на породах кристаллического фундамента (рис. 3 А). Из результатов описания керна и шлифов следует, что терригенные породы ЦП-I и ЦП-II характери-

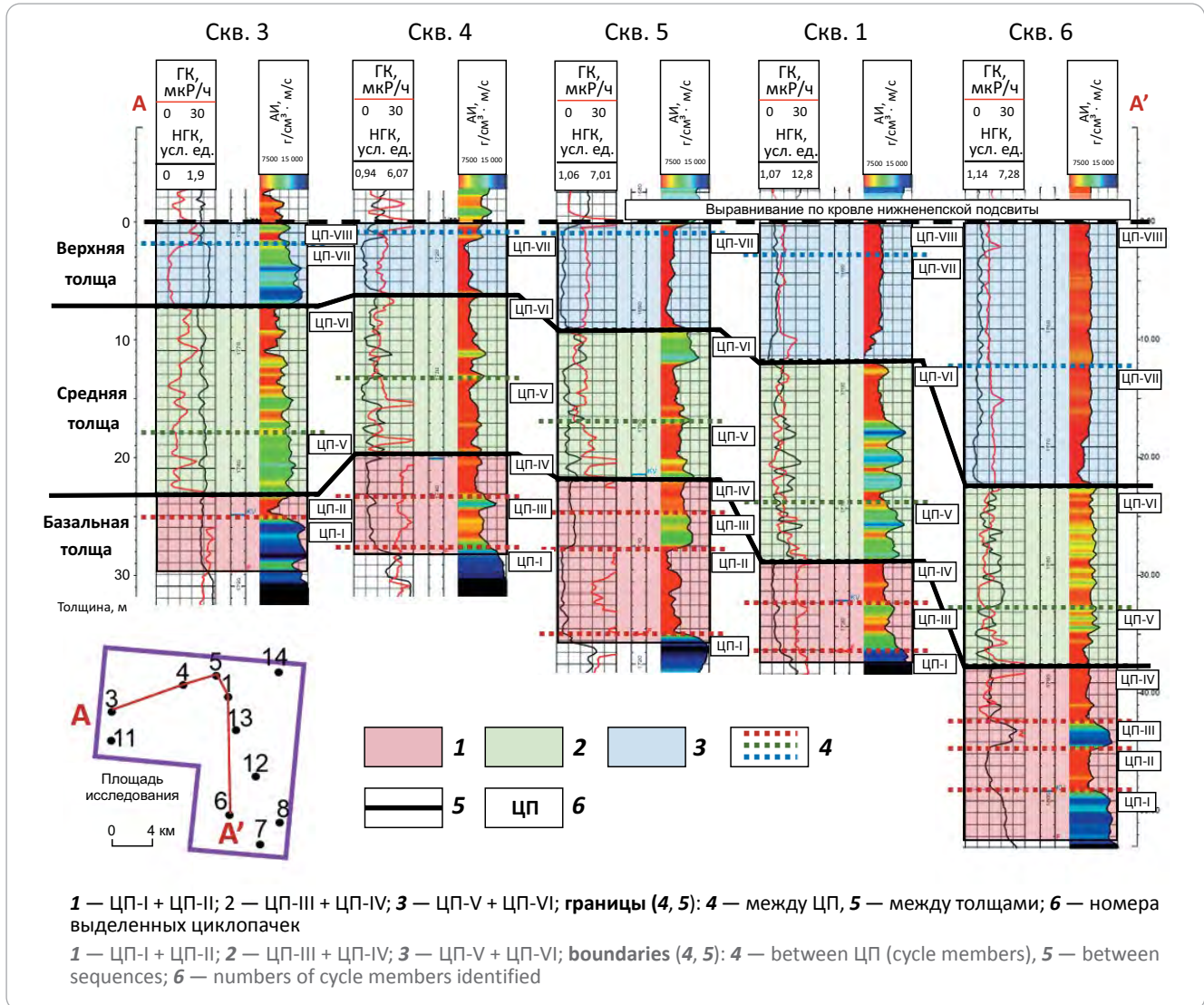
зуются массивной и линзовидной (см. рис. 3 В, С), иногда слоистой текстурой, а также следами оползания. Среди образцов преобладают преимущественно слабосцементированные породы, главным образом мезомиктовые песчаники (по классификации Шванова В.Н., 1987), средне-крупнозернистые, гравелитистые, с ангидрит-карбонатным поровым цементом, с различным содержанием глинистого материала и в разной степени засоленные и доломитизированные. Это плохо сортированные обломочные породы, зерна кварца в которых имеют удлиненную и изометричную, полуугловатую, полукатанную форму.

Эти породы отличаются выдержанностью по площади. Из-за значительного содержания глинистых частиц (по результатам определения минерального состава пород методом рентгенофазового анализа до 75–80 %) и аксессуарных минералов, таких как монацит, базальные породы отчетливо выделяются на кривых гамма-каротажа аномально высокой радиоактивностью, что позволяет использовать их в качестве маркирующего литотипа при проведении межскважинной корреляции [7].

Выше по разрезу толщи песчаники и алевролиты слагают ЦП-III и ЦП-IV (глубины залегания 1700–1795 и 1705–1790 м соответственно). Эти породы согласно залегают на подстилающих отложениях, среди них наблюдаются разности пестроцветные, ангидритизированные приливной зоны и коричневые флювиального и мелководно-морского генезиса. Верхняя часть ЦП-IV (см. рис. 3 Д) в сква-



Рис. 2. Циклическое строение нижневендских пород в разрезах скважин 3, 4, 5, 1, 6
Fig. 2. Cyclic structure of Lower Vendian rocks in 3, 4, 5, 1, 6 well columns



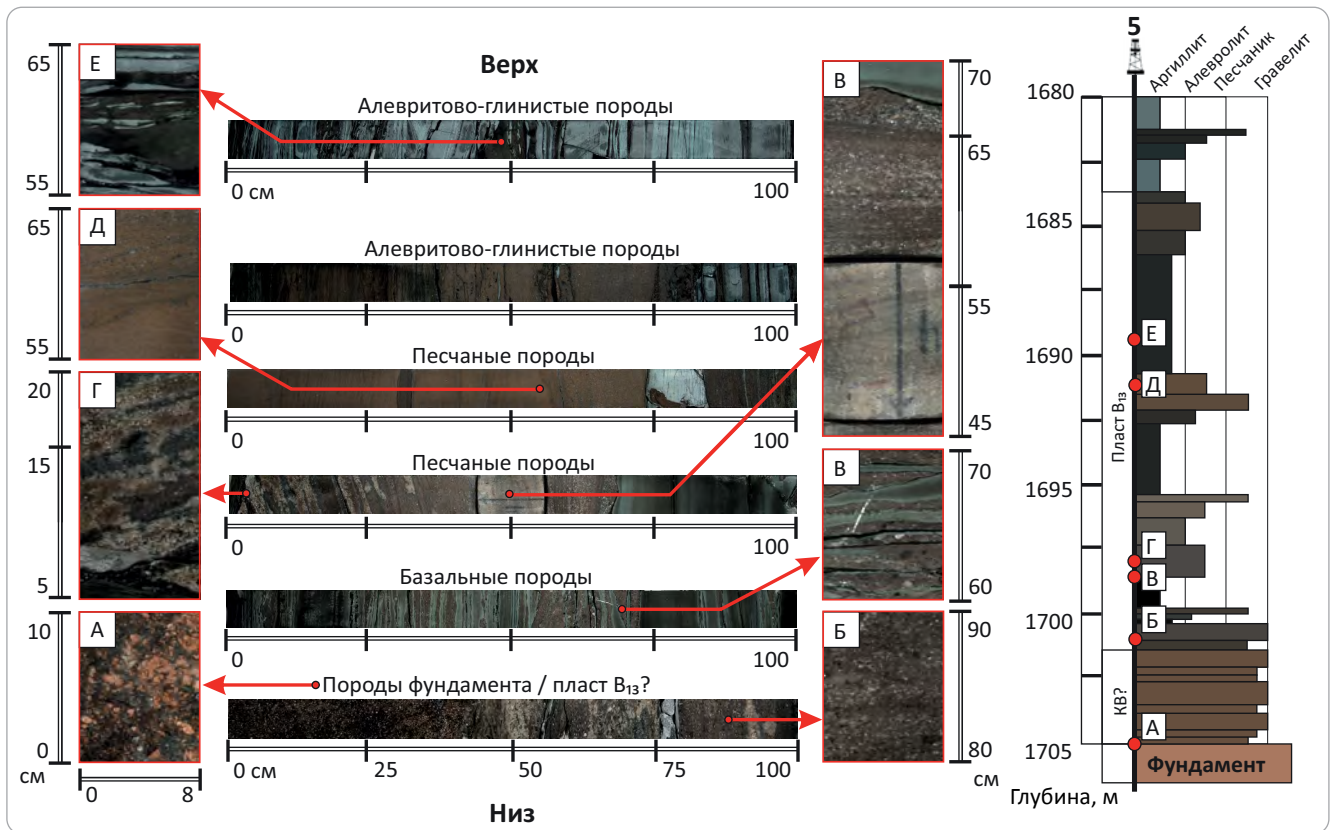
жинах 1, 4, 5 представлена косослоистыми кварцево-граувакковыми песчаниками с ангидрит-карбонатным базально-поровым цементом. В основании элементарных циклитов они крупнозернистые, гравелитистые, выше — средне-мелкозернистые, с разнонаправленной слоистостью. В кровле толщи песчаники слабощементированы порово-пленочным железисто-глинистым и эвапоритово-карбонатным цементом. Слабая сортировка и форма зерен кварца схожи с представленными в подстилающих породах ЦП-I и ЦП-II. К юго-востоку, в скв. 6, через 0,2–0,3 м вскрыто чередование пестроцветных ритмов алевролитово-песчаных, глинисто-алевролитовых, алевролитово-глинистых приливной полосы. Таким образом, на рассмотренном этапе, завершившемся трансгрессией моря, проявились признаки аридизации климата и сформировались мелководные песчаные тела коллекторов, содержащие на юго-востоке площади скопления УВ.

Гранулометрический состав обломочных пород определялся ситовым методом с использованием

набора из 11 сит: 1,6; 1; 0,63; 0,5; 0,42; 0,315; 0,25; 0,125; 0,1; 0,71 и 0,063 мм. В работе использовалась широко распространенная в нефтяной геологии классификация терригенных пород по размерности зерен (обломков), основанная на десятичной метрической системе [8]. Гранулометрия обломочных пород ЦП-II – ЦП-IV описывается логнормальным распределением. Наибольшее количество обломочных зерен (более 50 %) оказалось сосредоточено во фракциях более 1,6 и 1–0,5 мм. Таким образом, базальная толща образована гравелитами и крупнозернистыми песчаниками с цементом, который представлен материалом алевритовой и пелитовой размерности (до 40 % объема породы). Таким же материалом сложены отдельные пропластки и линзы, наблюдаемые в шлифах.

Средний этап характеризовался продолжением литофациальной дифференциации, проявившейся в конце предшествующего времени. Средняя толща (ЦП-V, ЦП-VI) суммарной толщиной до 20 м залегает на подстилающих базальных породах на

Рис. 3. Строение нижненепских отложений скв. 5
Fig. 3. Structure of Nizhnenevsky deposits, Well 5



глубине от 1690 до 1785 м по неровной границе со следами эрозионного вреза. В скв. 3 темноцветная грубообломочно-песчаная ЦП-V (5 м) флювиальных отложений, разгрузавшихся в приливной зоне, сменяется вверх по разрезу пестрыми глинисто-алевритово-песчаными породами ЦП-VI (10 м), их элементарные циклиты образованы чередованием отложений приливной полосы и мелководья. В скважинах 1, 4, 5, 6 мелководные песчаники ЦП-V и песчаники зон дюн и мелководья ЦП-VI засолены, доломитизированы и содержат пленочный битумный цемент. Алевритово-гравелитисто-песчаная ЦП-VI (7 м) накапливалась в условиях переменных обстановок зоны дюн и мелководья, перекрыта коричневыми сульфатизированными и галитизированными алевролитами себхи.

Породы ЦП-V характеризуются преобладанием хорошо развитой разнонаправленной косои и линзовидной слоистости, прекрасно выраженной не только в песчаниках, но также в алевролитах и алевритовых глинах (см. рис. 3 Е). В составе преобладают мезомиктовые песчаники с нормальным симметричным и логнормальным распределением песчаных фракций. При этом наибольшее содержание частиц песчаной размерности фиксируется во фракции 0,25–0,125 мм. Поровый цемент песчаников представлен частицами мелкоалевритовой и пелитовой размерности, содержание которых редко превышает 10 %. С уменьшением размерности песчаных зерен улучшается степень их окатанности и сортированность породы. В верхней части толщи,

в полевошпатово-кварцевых граувякковых песчаниках ЦП-VI (рис. 3 F) появляются прослои крупнозернистых и гравелитистых песчаников, толщина которых не превышает 0,3 м.

В центральном секторе площади характер разреза в интервале средней толщи существенно иной. В разрезе скв. 5 фиксируется преобладание разнозернистых песчаных пород, включающих линзы доломитов и ангидритов (рис. 4), а также линзы, сложенные мелкозернистым песчаным материалом. Все это свидетельствует о приближении к береговой линии и источнику сноса терригенного материала.

Детальное описание керна, исследование шлифов, а также изучение методами рентгенодифрактометрического и электронно-микроскопического анализа показало, что породы ЦП-V и ЦП-VI в скважинах 1, 4, 6 также содержат линзы доломитов и ангидритов, иногда с включениями доломитовых известняков и мергелей. Преобладает доломит, которым нацело сложены отдельные пропластки. Он также присутствует в виде цемента в линзах и прослоях песчаников. В отдельных образцах его содержание превышает 90 % (рис. 5). Сохранившиеся текстурные и структурные признаки позволяют предположить, что он замещает карбонатные кальцитовые пленки, выделенные цианобактериями в процессе формирования микробных построек. В отдельных прослоях с доломитом ассоциируют гипс и ангидрит, вместе с которыми в небольшом количестве нередко присутствует галит.



Рис. 4. Фотографии шлифов нижневендских осадочных отложений с различным проявлением минералов группы сульфатов (А) и минералов карбонатной группы (В)

Fig. 4. Photos of thin sections from Lower Vendian sedimentary deposits with different patterns of sulphate minerals (A) and carbonate minerals (B)



По результатам рентгенодифрактометрического анализа в составе средней толщи фиксируются три ассоциации, сложенные карбонатами и минеральными солями: кальцит-доломит-ангидритовая, доломит-ангидрит-кальцит-галитовая и кальцит-доломит-галитовая (см. рис. 5). К первой ассоциации принадлежат породы ЦП-V, ко второй — ЦП-VI. Их разделяет маломощный прослой аргиллитов. Третья, кальцит-доломит-галитовая, ассоциация характерна для средне-мелкозернистых прикровельных песчаников ЦП-VI. Содержит галита и кальцита, которым заполнены поры в этих породах, достигает 15–20 %. В глинистых прослоях, подстилающих и перекрывающих песчаники, также присутствуют минералы солей сульфатной и хлоридной групп — гипс и галит. Их содержания, однако, не превышают 10 %.

Вполне вероятно, что описываемые отложения аккумуляровались в небольшой лагуне, которая располагалась в береговой зоне мелководно-мор-

ского бассейна. При испарении морской воды в осадок первым выпадал доломит, иногда вместе с кальцитом. Вслед за ними осаждались гипс и ангидрит. Эти последовательности согласуются с результатами работ по стадийному анализу осаждения минеральных солей из насыщенных растворов ([8, 9] и др.).

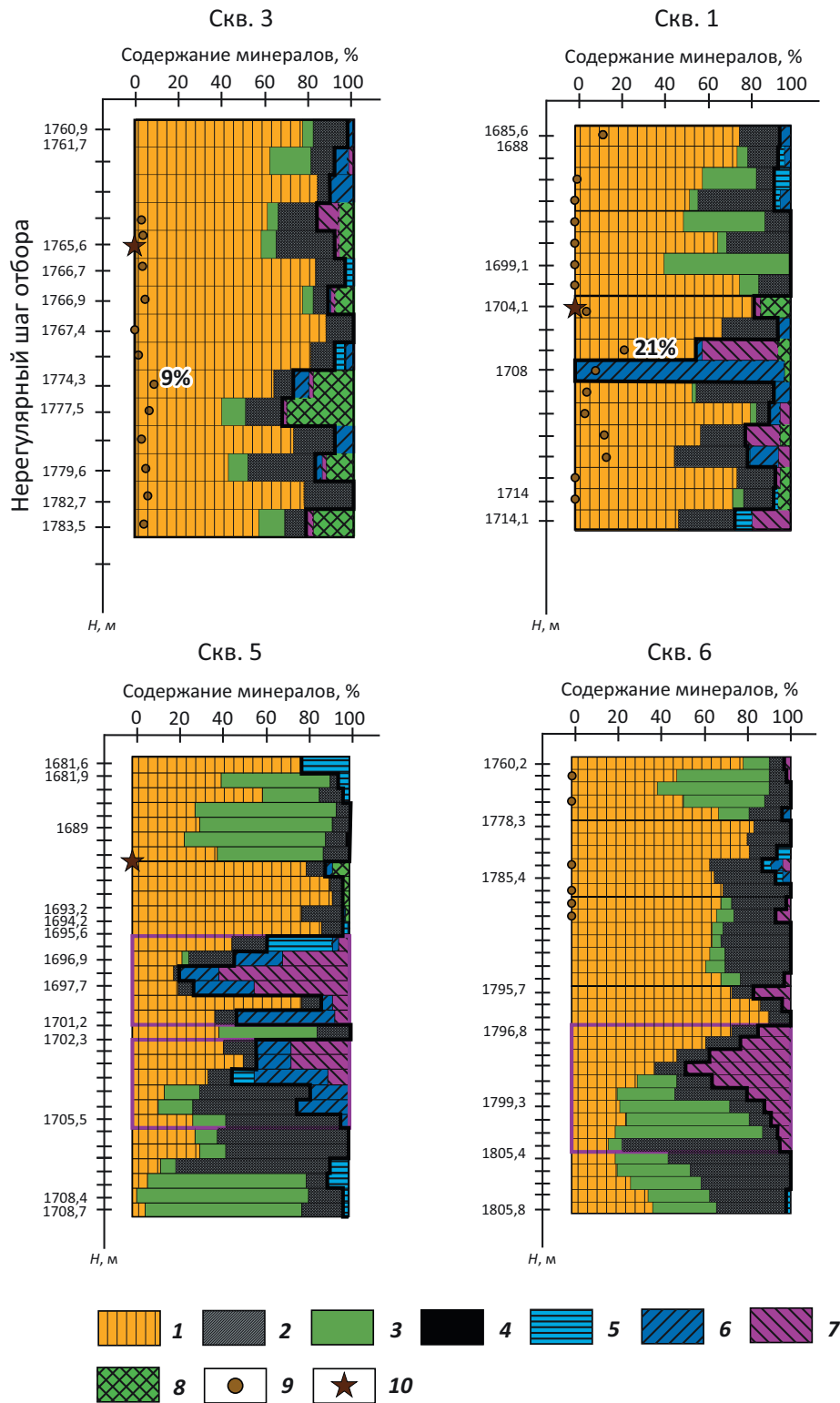
Помимо отмеченных выше эвапоритов, в песчаниках нижненепской подсвиги присутствуют минеральные соли вторичного генезиса. Речь идет о галитовом цементе, который на отдельных участках почти полностью заполняет поровое пространство в песчаных породах. Как полагают многие исследователи, его образование было связано с перетоком рассолов из толщи усольских эвапоритов вниз по разрезу вендских отложений и раскристаллизацией этих рассолов в порах песчаников непской свиты [1, 10]. Вместе с галитом в составе цемента встречается сильвин.

Средний этап, продолжившийся трансгрессией с юго-востока и усилением аридизации климата, привел и к формированию глинистой покрывки в кровле средней толщи. По результатам определения минерального состава глинистой фракции горных пород методом полуквантитативного рентгенофазового анализа глинистые разности представлены в породах преимущественно смешанослойными образованиями ряда хлорит – гидрослюда с примесью гидрослюдисто-монтмориллонитовых разностей (до 10 %).

Поздний этап накопления нижненепских осадочных толщ связан с дальнейшей трансгрессией моря и некоторым нивелированием обстановок седиментации. Циклопачки VII – VIII верхней толщи (глубина залегания от 1680 до 1760 м, толщина от 5 до 15 м) формировались в условиях чередования мелководных и преобладания приливных обстановок седиментации (см. рис. 3 G). Представлены они преимущественно мелкозернистыми аркозовыми песчаниками с карбонатно-глинистым поровым цементом. Песчаники преимущественно хорошо сортированы, зерна кварца изометричные, часто неправильной формы, с тонкими прерывистыми регенерационными каемками. Наибольшее содержание частиц алевритовой размерности фиксируется во фракции 0,05–0,01 мм (более 70 %).

В центральном секторе района исследований, по мере удаления от источника сноса терригенного материала (скв. 1), размеры песчаных частиц существенно уменьшаются, а облик гистограмм песчаных пород по всему разрезу нижненепской подсвиги становится более однообразным. На большинстве из них хорошо выражены два пика: меньший отвечает фракции 0,1–0,063 мм, больший — фракции 0,05–0,01 мм. При этом в образцах из песчаной пачки с ангидритами алевритовый и пелитовый материал практически отсутствует, что может указывать на многократную переработку и переотложение песчаного осадка. В скв. 6, расположенной значительно южнее, снова появляются

Рис. 5. Горизонтальные столбчатые диаграммы минерального состава пород
 Fig. 5. Bar charts of rock mineral composition



1 — кварц; 2 — полевые шпаты; 3 — глинистые минералы; 4 — пирит; 5 — кальцит; 6 — доломит; 7 — ангидрит; 8 — галит; 9 — анкерит; 10 — сидерит
 1 — quartz; 2 — feldspar; 3 — argillaceous minerals; 4 — pyrite; 5 — calcite; 6 — dolomite; 7 — anhydrite; 8 — halite; 9 — ankerite; 10 — siderite

гравелиты. В породах, в которых, помимо обломочного материала, присутствуют ангидрит и доломит, нередко снижено содержание частиц алевритовой и пелитовой размерности, что может свидетельствовать о сильной водной или ветровой динамике, проявившейся в этой части морского водоема.

Однако на западе их состав, по сравнению с циклопачками восточной части района, отличается большей песчаностью, присутствием сульфатизированных и доломитизированных гравелитов, дресвяно-гравелитистых прибрежных отложений. В верхней части толщи находятся ритмиты песчано-алевролитовые, перекрытые маломощными темноцветными пологонаклонными глинами межприливных осушек, со следами оползания и смятия, которые по неровной границе перекрыты карбонатно-сульфатно-терригенными породами верхне-непской подсвиты.

Среди исследованных скважин особое место занимает скв. 3. Она находится в западном секторе района работ на значительном удалении от других точек, где проводилось бурение. Выделяемые циклопачки в составе нижне-непской подсвиты сложены преимущественно мелко-среднезернистыми полевошпатово-кварцевыми граувакковыми песчаниками с галитовым поровым цементом. Встречаются средне- и крупнозернистые разности. На гистограммах всех изученных образцов по разрезу подсвиты выделяется пик, отвечающий мелкоалевритовой фракции 0,05–0,01 мм, что может свидетельствовать о стабильности существовавших здесь условий седиментации.

Эволюция ранневендского седиментогенеза проходила в условиях эвстатических колебаний уровня мирового океана, аридизации климата и вероятных поэтапных структурных перестроек [2, 11, 12].

Минеральный состав песчаников в разрезе нижне-непской подсвиты довольно изменчив. Он варьирует от олигомиктового и мезомиктового до грауваккового. Наибольшим распространением характеризуются кварцевые граувакки, к которым относятся многие мелкозернистые песчаники, среднезернистые разности с ангидритовым цементом, а также песчаные породы с доломитовым цементом. Довольно часто встречаются песчаники мезомиктового состава. Кварцевые и аркозовые песчаники практически отсутствуют. Подобный состав песчаных пород свидетельствует о том, что основным источником обломочного материала на южном склоне Непского свода могли быть породы фундамента метаморфического и магматического происхождения.

Блоки фундамента, поднимавшиеся над уровнем моря и разделенные небольшими впадинами, до конца венда оставались основными источниками сноса терригенного материала. Самый крупный из этих выступов располагался в северо-западной периферии Непско-Ботуобинской антеклизы, на

что указывают результаты интерпретации сейсмических данных 2D/3D. По мере заполнения впадин осадками и разрушения выступов фундамента происходило выравнивание древнего рельефа и постепенное расширение бассейна седиментации в сторону центральной части Сибирской платформы. С этим этапом развития региона было связано формирование вендского терригенного комплекса, а именно непской свиты и ее возрастных аналогов.

Мелководно-морской водоем, образовавшийся в раннем венде в южном секторе Непского свода, с течением времени трансформировался в лагуну с повышенной соленостью вод, что привело к накоплению сульфатно-карбонатных осадков, часто содержащих значительную примесь обломочного материала. Отложения тирского века отсутствуют в центральной части Непского свода, что, вероятно, связано с размывом в предданиловское время, на который указывает перерыв в осадконакоплении. Выше поверхности несогласия залегают глинистые известняки и доломиты, перекрытые карбонатными отложениями даниловского горизонта.

Петрофизические и геофизические исследования

Комплексирование методов ГГКп-НК и АК-НК позволяет одновременно учесть степень засоленности и определить коэффициент пористости непских пород. Применяемые методы ГИС и особенности петрофизического изучения засоленных терригенных пород венда освещены в работах Ш.В. Мухидинова и В.С. Воробьева [1, 13]. Полученные результаты анализа минерального состава пород согласуются с данными РИГИС, подтверждая распределение засоленных интервалов.

По имеющимся геолого-геофизическим данным, наиболее засоленными интервалами нижне-непской подсвиты (содержание минералов эвапоритовой группы более 30 % общего состава образца) являются мезомиктовые средне-крупнозернистые песчаники средней толщи (ЦП-V) и полевошпатово-кварцевые граувакковые гравелитистые песчаники базальной и средней толщ (ЦП-III, ЦП-V). В подстилающих и перекрывающих породах также присутствуют минералы сульфатной и хлоридной групп, но их содержания не превышают 30 % и их толщины в разрезах скважин не столь выдержаны.

По результатам петрофизического моделирования выяснилось, что глинизация и засоление по-разному влияют на упругие свойства пород. При возрастании роли глинистого цемента в коллекторе наблюдается увеличение отношения скорости продольных волн к поперечным (V_p/V_s), снижение скорости продольных волн (V_p) и акустического импеданса ($V_p \cdot \rho$, АИ). Засоление приводит к сокращению отношения V_p/V_s и увеличению скорости продольных волн и акустического импеданса (рис. 6 А). Данные закономерности получены по результатам проведенного петроупругого моделирования свойств пород и проявляются только при

Рис. 6. Кросс-плот между $V_p \cdot \rho$ — V_p/V_s (A), график распределения плотности вероятности АИ (B) и V_p/V_s (C) для выделенных типов нижненепских пород

Fig. 6. Crossplot of $V_p \cdot \rho$ vs V_p/V_s (A), diagram of AI probability density (B) and V_p/V_s (C) for the identified Nizhnenepsky rock types

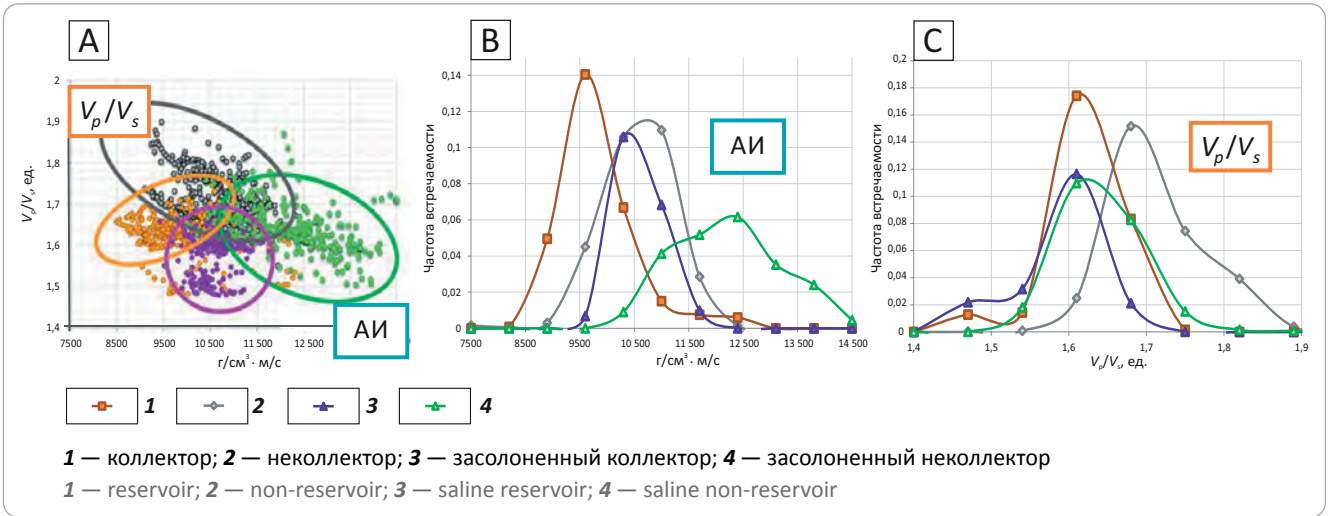
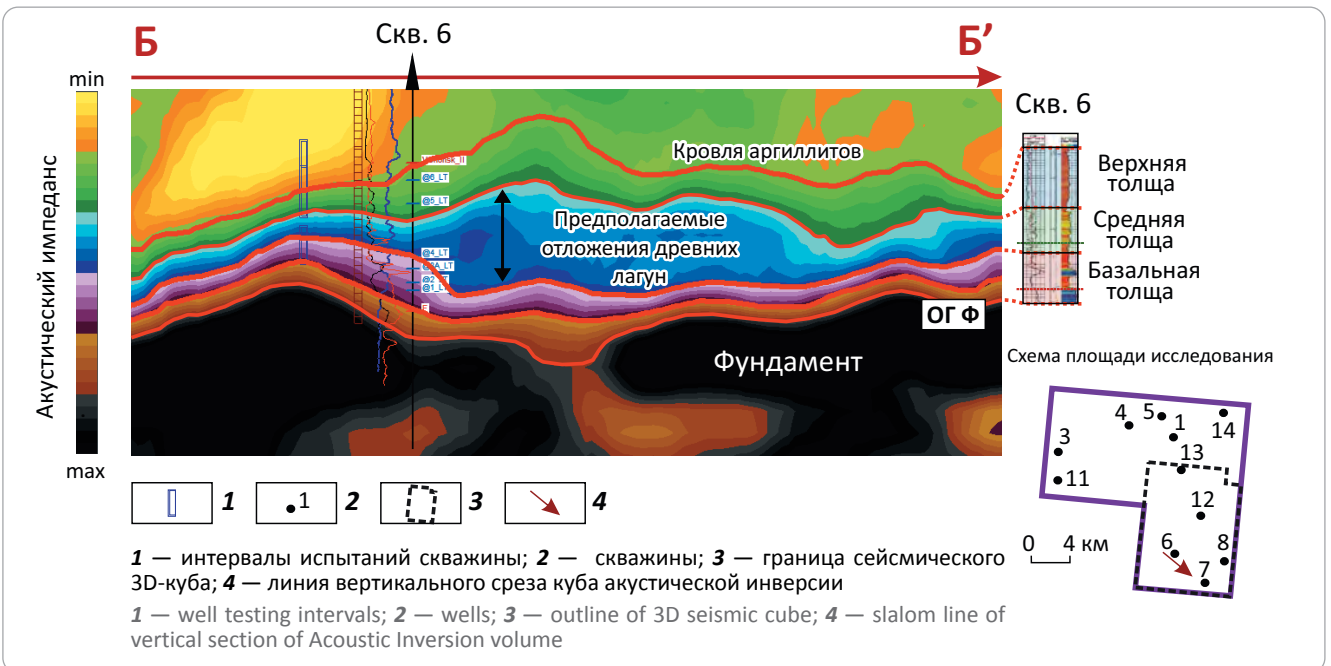


Рис. 7. Вертикальный срез по кубу акустического импеданса в районе скв. 6

Fig. 7. Vertical section of Acoustic Impedance volume in the vicinity of Well 6



значительных масштабах засоления отложений (засолено не менее 30 % пустотного пространства общей пористости анализируемого интервала).

На рис. 6 приведены распределения плотности вероятности упругих параметров для выделенных в рамках интерпретации ГИС типов пород в интервале нижненепских отложений. Типы — коллектор и неколлектор — выделены по количественным критериям (таким как граничные значения пористости и проницаемости), а их засоленные различия отличаются наличием эвапоритов в составе пород, фиксируемые по результатам лабораторных исследований ядра скважин. Приведенные кросс-плоты значений упругих свойств нижненепских пород

указывают на деление пород-коллекторов от других типов пород по $AI < 10\,000 \text{ г/см}^3 \cdot \text{м/с}$ (см. рис. 6 B). В области значений параметра V_p/V_s характеристики пород-коллекторов схожи с характеристиками засоленных коллекторов и засоленных неколлекторов (см. рис. 6 C).

Установленное разделение пород-коллекторов, неколлекторов и их засоленных различий в полях упругих свойств ($V_p/V_s - V_p \cdot \rho$, $V_s \cdot \rho - V_p \cdot \rho$) позволяет сделать вывод о возможности прогноза степени засоления отложений и коллекторских свойств с использованием результатов синхронной инверсии сейсмических данных (рис. 7).

Выводы

1. Хорошо развитая разнонаправленная косяя и линзовидная слоистость, прекрасно выраженная как в песчаниках, так и в алевролитах и глинах, окрашенных в коричневые и желтые тона, с высоким содержанием минералов солей сульфатных и хлоридных групп может свидетельствовать об аридном климате, который господствовал в регионе в период накопления отложений нижнего венда. В то же время низкое содержание алевроитовых и пелитовых частиц в песчаниках хорошей сортировки и окатанности указывает на многократное перемещение песчаного материала в пустынном ландшафте, мигрировавшего в составе барханов и дюн, вдоль морского побережья. В эпоху кратковременной морской трансгрессии, следствием которой стало появление небольших солеродных лагун, одна из таких дюн образовала себху, в конечном итоге заполнившую локальную структурную депрессию, к которой был приурочен этот изолированный мор-

ской водоем. По-видимому, лишь одна из скважин (3), пробуренная в западном секторе района исследований, вскрыла обломочные отложения мелководно-морского генезиса. С течением времени на побережье морского бассейна образовались неширокие приливно-отливные площадки, где стали накапливаться тонкозернистые глинистые и алевроитово-глинистые осадки с характерной для этих обстановок сигмоидной текстурой, которая напминает косую слоистость.

2. Помимо эвапоритов, представленных совместно с доломитами и ангидритами, в районе исследований распространены вторично засоленные породы, главным образом песчаники с галитовым цементом. Их изучение в шлифах, а также результаты анализов минерального и гранулометрического состава позволили выявить особенности распределения соли в породах, а также уточнить прогноз развития засоленных коллекторов на юго-западном склоне Непского свода.

Литература

1. Воробьев В.С., Чеканов И.В., Клиновья Я.С. Модель распространения терригенных коллекторов и засоленных песчано-гравелистых отложений в пределах месторождений центральной части Непского свода // Геология нефти и газа. – 2017. – № 3. – С. 47–60.
2. Шемин Г.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности венда и нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы (Непско-Ботубинская, Байкитская антеклизы и Катангская седловина). – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2007. – 467 с.
3. Вассоевич Н.Б. Избранные труды. Литология и нефтегазоносность. – М. : Наука, 1990. – 264 с.
4. Крашенинников Г.Ф. Учение о фациях. – М. : Высшая школа, 1971. – 368 с.
5. Шанцер Е.В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. – М. : Наука, 1966. – 240 с.
6. Мельников Н.В. Венд-кембрийский солесный бассейн Сибирской платформы. (Стратиграфия, история развития). – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. – 148 с.
7. Коновальцева Е.С. Вторичные процессы в породах коллекторах продуктивных отложений Ярактинского месторождения // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2010. – № 5. – С. 1–11.
8. Бурлин Ю.К., Конюхов А.И., Корнюшина Е.Е. Литология нефтегазоносных толщ. – М. : Недра, 1991. – 290 с.
9. McDonald G.J.F. Anhydrite-gypsum equilibrium relations // American Journal of Science. – 1953. – Т. 251. – С. 247–272. DOI: 10.2475/ajs.251.12.884.
10. Анциферов А.С. Формирование нефтегазовых залежей и методика их поисков в южных районах Сибирской платформы // Геология нефти и газа. – 1976. – № 12. – С. 5–8.
11. Гурова Т.И., Чернова Л.С., Потлова М.М. и др. Литология и условия формирования резервуаров нефти и газа Сибирской платформы. – М. : Недра, 1988. – 254 с.
12. Карнюшина Е.Е., Коробова Н.И., Ступакова А.В., Сауткин П.С. Этапы ранневендской седиментации на восточном склоне Байкитской антеклизы // Новые идеи в геологии нефти и газа — 2017 : мат-лы международной научно-практической конференции (Москва, 25–26 мая, 2017 г.). – М., 2017. – С. 126–127.
13. Мухидинов Ш.В., Воробьев В.С. Методические особенности петрофизического изучения засоленных терригенных пород нефтегазовых месторождений Чонской группы // ПРОнефть. – 2017. – № 1. – С. 32–37.

References

1. Vorobyev V.S., Chekanov I.V., Klinovaya Ya.S. The distribution model of terrigenous reservoirs and saline sand-gravelite deposits within the fields of the central part of the Nepal arch. *Geologiya nefi i i gaza*. 2017;(3):47–60. In Russ.
2. Shemin G.G. Geologiya i perspektivy neftegazonosnosti venda i nizhnego kembriya tsentral'nykh raionov sibirskoi platformy (Nepsko-Botuobinskaya, Baikitskaya anteklizy i Katangskaya sedlovina) [Geology and petroleum potential of Vendian and Lower Cambrian of the central Siberian Platform regions (Nepesky-Botuobinsky, Baikitsky antecleses, and Katangsky saddle)]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN; 2007. 467 p. In Russ.
3. Vassoevich N.B. Izbrannye trudy. Litologiya i neftegazonosnost' [Selectas. Lithology and petroleum potential]. Moscow: Nauka; 1990. 264 p. In Russ.
4. Krashennnikov G.F. Uchenie o fatsiyakh [Theory of facies]. Moscow: Vysshaya shkola; 1971. 368 p. In Russ.
5. Shantzer E.V. Principles of the studies of genetic types of continental sedimentary formations [Essays on the doctrine of genetic types of sedimentary continental formations]. Moscow: Nauka; 1966. 240 p. In Russ.
6. Mel'nikov N.V. Vend-kembriiskii solenosnyi bassein Sibirskoi platformy. (Stratigrafiya, Istoriya razvitiya) [Vendian-Cambrian salt-bearing basin of Siberian Platform (stratigraphy, history of evolution)]. Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN; 2009. 148 p. In Russ.

7. *Konoval'tseva E.S.* Secondary processes in reservoir rocks of productive sediments of Yaractinski deposit. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika.* 2010;(5):1–11. In Russ.
8. *Burlin Yu.K., Konyukhov A.I., Korniyushina E.E.* Litologiya neftegazonosnykh tolshch [Lithology of oil and gas bearing sequences.]. Moscow: Nedra, 1991; 290 p. In Russ.
9. *McDonald G.J.F.* Anhydrite-gypsum equilibrium relations. *American Journal of Science.* 1953;(251):247–272. DOI: 10.2475/ajs.251.12.884.
10. *Antsiferov A.S.* Formirovaniye neftegazovykh zalezhei i metodika ikh poiskov v yuzhnykh raionakh Sibirskoi platformy [Oil and gas pool formations and methodology of prospecting for them in the southern regions of Siberian Platform]. *Geologiya nefi i gaza.* 1976;(12):5–8. In Russ.
11. *Gurova T.I., Chernova L.S., Potlova M.M. et al.* Litologiya i usloviya formirovaniya rezervuarov nefi i gaza Sibirskoi platform [Lithology and settings of formation of oil and gas reservoirs in Siberian Platform]. Moscow: Nedra; 1988. 254 p. In Russ.
12. *Karniyushina E.E., Korobova N.I., Stupakova A.V., Sautkin R.S.* Ehtapy rannevendskoi sedimentatsii na vostochnom sklone Baikitskoi anteklizy [Stages of Early Vendian sedimentation in the eastern slope of the Baikitsky Anteclyse]. In: *Novye idei v geologii nefi i gaza — 2017 : mat-ly mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Moscow, 25–26 May, 2017).* Moscow; 2017. pp. 126–127. In Russ.
13. *Mukhidinov Sh.V., Vorobyev V.S.* Methodical features of petrophysical study salinization clastic rocks of oil and gas fields Chong Group. *PRONEFT.* 2017;(1):32–37. In Russ.

Информация об авторе

Балагуров Максим Дмитриевич

Главный специалист

Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова,

119991 Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1

e-mail: maxim_balagurov@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-3640-2293

Information about author

Maxim D. Balagurov

Chief Specialist

Lomonosov Moscow
State University,

1, Leninskiye gory, GSP-1, Moscow, 119991, Russia

e-mail: maxim_balagurov@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-3640-2293