



Оригинальная статья / Original article

УДК 550.8(571.1)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-1-30-38>

Выделение органогенных построек осинского горизонта по данным 2D- и 3D-сейсморазведки в северо-восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы

© Р.С. Уренко^a, А.Г. Вахромеев^b^{a,b}Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

Резюме: Месторождения Восточной Сибири являются одним из основных центров добычи углеводородов восточной части России. Большая часть углеводородных запасов располагается на данной территории в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы, где важнейшими продуктивными объектами разработки являются отложения нижнего кембрия. Главная цель данного исследования заключалась в более подробном изучении внутреннего пространства и отличительных характеристик органогенных построек кембрийского времени, а также в определении методик обнаружения рифогенных построек методами сейсмических исследований. Статистическая обработка имеющегося фактического материала по коллекторским свойствам показала очень неравномерное распределение пустотности (пористости). Было выявлено, что поры возникли в результате выщелачивания форменных образований в местах рыхлой упаковки зерен эпигенетического доломита, по цементирующему веществу в межзерновых пространствах, по трещинам и стилолитовым швам. Дополнительно для выявления органогенных построек в осинском горизонте на территории Непско-Ботуобинской антеклизы на основании сейсмических исследований выделен ряд методик. Выделение единичных рифогенных построек в осинском горизонте нижнего кембрия на основании анализа сейсмоамплитуд осуществлялось при помощи 2D- и 3D-сейсморазведки. По данным сейсмических исследований на территории Непско-Ботуобинской антеклизы выявлены зоны развития как линейных, так и одиночных карбонатных построек. Дополнительно было выявлено, что в скважинах, находящихся в кольцевой аномалии, происходит повышение эффективных толщин. Подводя итоги и анализируя сопоставленные материалы, можно сделать вывод о том, что основным методом для выделения зон колец по скважинам является метод измерения интервального времени пробега продольной волны. Комплексный анализ материалов 2D- и 3D-сейсморазведки методом общей глубинной точки, а также рядом других методов по определенному алгоритму позволил выделить в карбонатном разрезе северо-восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы отдельные образования органогенных (рифогенных) построек.

Ключевые слова: Сибирская платформа, карбонатные образования, рифогенные постройки, рифообразование

Для цитирования: Уренко Р.С., Вахромеев А.Г. Выделение органогенных построек осинского горизонта по данным 2D- и 3D-сейсморазведки в северо-восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы. *Науки о Земле и недропользование*. 2021. Т. 44. № 1. С. 30–38. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-1-30-38>

Identification of Osinsky horizon organogenic structures by 2D and 3D seismic survey data in the north-eastern part of the Nepa-Botuoba antecline

© Roman S. Urenko^a, Andrey G. Vakhromeev^b^{a,b}Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

Abstract: The fields of Eastern Siberia belong to the one of the main centers of hydrocarbon production in the eastern part of Russia. The main part of hydrocarbon reserves is located in the area within the Nepa-Botuoba antecline, where the Lower Cambrian deposits are major production objects. The main purpose of this research is to provide a detailed study of the inner space and features of organogenic structures of the Cambrian period, as well as to determine the procedures for detecting reef structures by seismic research methods. Statistical processing of the available factual material on reservoir properties has shown a very uneven distribution of cavernosity (porosity). It is found that pores were formed as a result of leaching of shaped formations in loose packing locations of epigenetic dolomite grains, along the cementing substance in the intergranular spaces, along cracks and stylolite seams. To identify organogenic structures in the Osinsky horizon of the Nepa-Botuoba antecline on the basis of seismic studies some additional methodologies have been selected. Identification of single reef structures in the Osinsky horizon of the Lower Cambrian based on the analysis of seismic amplitudes was carried out by means of a 2D and 3D seismic survey. According to the data of seismic studies, the Nepa-Botuoba



antecline features the development zones of both linear and single carbonate structures. It is also revealed that there is an increase in effective thicknesses in wells located in the annular anomaly. Summing up the results and analyzing the compared materials, it can be concluded that the main identification method of ring zones in wells is the method of longitudinal wave slowness measurement. A comprehensive analysis of 2D and 3D seismic survey data by the common depth point method as well as by a number of other methods using a specific algorithm allowed us to identify individual formations of organogenic (riphogenic) structures in the carbonate section of the north-eastern part of the Nepa-Botuoba antecline.

Keywords: Siberian platform, carbonate formations, reef structures, reef formation

For citation: Urenko RS, Vakhromeev AG. Identification of Osinsky horizon organogenic structures by 2D and 3D seismic survey data in the north-eastern part of the Nepa-Botuoba antecline. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2021;44(1):30–38. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-1-30-38>

Введение

На территории Сибирской платформы значительные запасы и ресурсы углеводородов сконцентрированы в карбонатных отложениях венда и нижнего кембрия [1]. Основные проблемы, возникающие при поиске залежей углеводородов и при разведке, оценке и последующей разработке месторождений, связаны с чрезвычайно сложным пространственным строением пустот вендско-нижнекембрийского карбонатного слоя [2]. Сложное строение карбонатного пласта определяет необходимость создания трехмерной геологической модели продуктивного пласта. Инфраструктура всех детальных моделей нефтегазоперспективного объекта заключается в интеграции данных, полученных в результате анализа керновых материалов, материалов геофизических исследований скважин (ГИС) и результатов наземных геофизических исследований, в первую очередь сейсморазведки методом общей глубинной точки. Каждый набор данных имеет свои преимущества и недостатки. Поэтому результаты исследования керна скважины дают наиболее полную и достоверную информацию о строении, составе и литологических и петрофизических характеристиках пород, составляющих продуктивный пласт. Однако эти данные обычно являются дискретными частями и областями [3].

Материалы ГИС практически непрерывно характеризуют разрез анализируемых интервалов разреза в точках скважин, но их применимость к исследованиям трещинных систем крайне дискуссионна. Данные ГИС также дискретны по площади. Сейсмические данные (особенно в случае 3D-сейсморазведки) непрерывны по площади и по разрезу, но имеют ограничения по разрешающей способности. Их использование позволяет прогнозировать

строение горизонтов в межскважинном пространстве.

Материалы и методы исследования

В ходе исследования были рассмотрены методы прогнозирования карбонатных построек в осинском горизонте в северо-восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы. Данные методики имеют практическое применение для выделения карбонатных построек в интервале осинского горизонта. При написании статьи были использованы материалы сейсмических исследований ряда месторождений Восточной Сибири.

Результаты исследования и их обсуждение

Рифогенные отложения Непско-Ботуобинской антеклизы. Проблема поисков и разработки карбонатных коллекторов нефти и газа в последние годы приобрела актуальное значение. Важность данной проблемы обусловливается тем, что с каждым годом увеличивается удельный вес месторождений, связанных с карбонатными коллекторами.

Непско-Ботуобинская антеклиза более полувека является основным объектом нефтепоисковых работ на юге Сибирской платформы и входит в состав одноименной нефтегазоносной области [1]. Рассматриваемый в статье район включает в себя юго-западную часть антеклизы. Его тектоническое развитие оказало значительное влияние на условия нефтегазонакопления и формирование залежей углеводородов. Существование здесь в течение длительного геологического периода относительно приподнятой области привело к формированию крупной зоны нефтегазонакопления (рис. 1).

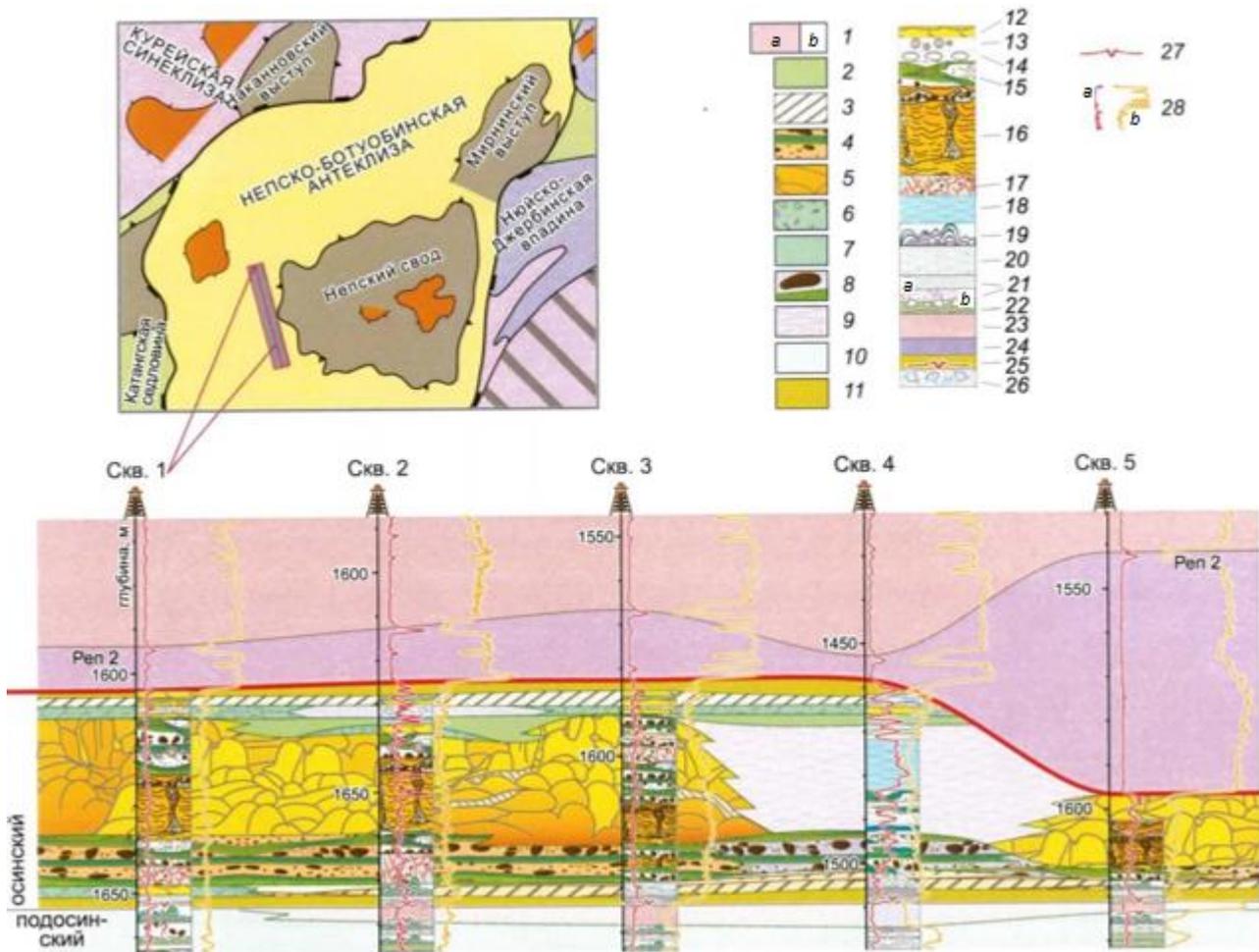


Рис. 1. Распространение рифогенных зон на территории Непско-Ботуобинской антеклизы [4]:
зоны: 1 – соли (а – солеродного бассейна, b – прибрежных лагун), 2 – тонко переслаивающиеся неравномерно элинистые и ангидритовые микритовые доломиты и известняки супралиторали, 3 – доломиты, известковые доломиты литорали и прилегающей мелкой sublиторали, 4 – доломиты, редко известковые доломиты биостромных построек, 5 – доломиты, редко известковые доломиты биогермных построек, 6 – оолитовые и литокластовые доломиты отмелей (или песков верхней литорали), 7 – водорослевые «фенестровые» доломиты литорали, 8 – доломиты с линзами и включениями ангидритов и солей биостромных построек, 9 – доломиты, известковые доломиты и доломитовые известняки межбиогермных лагун, 10 – циклично построенная толща осадочных комплексов sublиторали с маломощными строматолитами литорали и супралиторали, 11 – субаэральная экспозиция; литотипы: 12 – косослоистые грейнстоуны, 13 – оолитовые пак-, грейнстоуны, 14 – литокластовые пак-, грейнстоуны, 15 – байндстоуны, 16 – фреймстоуны, 17 – бафлстоуны, 18 – слабо глинистые мад-, вакстоуны, 19 – строматолиты, 20 – водорослевые ламиниты с фенестрами, 21 – мадстоуны массивные (а), линзовиднослоистые (b), 22 – обломки пород, 23 – соли, 24 – ангидриты, 25 – субаэральная экспозиция, 26 – брекчии растворения ангидритов; 27 – поверхности субаэральной размыва; 28 – кривые ГИС: гамма-каротаж (а), нейтронный гамма-каротаж (b)

Fig. 1. Reef zone distribution in the Nepa-Botuobinskaya anticline [4]:

zones: 1 – salts (a – salt basin, b – coastal lagoons), 2 – finely interbedded unevenly clayey and anhydrite micritic dolomites and limestones of the supralittoral, 3 – littoral and adjacent shallow sublittoral dolomites and calcareous dolomites, 4 – dolomites and sparsely calcareous dolomites of biostromic buildups, 5 – dolomites, sparsely calcareous dolomites of bioherm buildups, 6 – oolitic and lithoclastic dolomites of shoals (or sands of the upper littoral), 7 – algal ‘fenestral’ littoral dolomites, 8 – dolomites with lenses and inclusions of biostromic buildup anhydrites and salts, 9 – dolomites, calcareous dolomites and dolomite limestones of interbiohermal lagoons, 10 – cyclically built stratum of sublittoral sedimentary complexes with thin littoral and supralittoral stromatolites, 11 – subaerial exposure; lithotypes: 12 – cross-bedded grainstones, 13 – oolitic pack-, grainstones, 14 – lithoclastic pack-, grainstones, 15 – bindstones, 16 – framestones, 17 – bafflestones, 18 – weakly clayey mud-, wackstones, 19 – stromatolites, 20 – algal laminites with fenestres, 21 – massive mudstones (a), lenticular-bedded mudstones (b), 22 – rock fragments, 23 – salts, 24 – anhydrites, 25 – subaerial exposure, 26 – breccias of dissolved anhydrites; 27 – subaerial erosion surfaces; 28 – logging curves: gamma ray logging (a), neutron gamma ray logging (b)



Формирование кембрийских рифов связано с расцветом цианобактериальных сообществ (*Renalcis*, *Girvanella*, *Epiphyton* и др.), а также с появлением археоциат. В раннем кембрии Восточной Сибири созданная ими рифовая система пересекала всю платформу с северо-запада на юго-восток и представляла собой широкую отмельную зону, которую образовывали мощные рифовые комплексы, последовательно смещавшиеся к северо-востоку [5]. Фрагмент этой рифовой системы захватывает восточный борт современной Непско-Ботуобинской антеклизы. На большей же части антеклизы в формировании томмотского яруса нижнего кембрия (он выделяется как осинский продуктивный горизонт) основную роль играют небольшие по мощности микробные холмы, рост которых контролировался сообществами цианобактерий [6]. Как правило, основание этих холмов слагают самые «глубоководные» кустистые и слоистые формы колоний, способные развиваться ниже базиса действия волн [7]. Вверх по разрезу они сменяются массивными или сферическими формами колоний [8]. Вероятно, «уплощение» формы постройки приводило к росту ее устойчивости в условиях повышения динамической активности водной среды, вызванной уменьшением глубины акватории [9]. Микробные холмы создавали подводный ландшафт, осуществляя биогенную изоляцию лагуны в пространстве [4].

В кровле отложения интенсивно преобразованы за счет субаэрального растворения и повсеместно перекрываются глинисто-карбонатными брекчиями, содержащими многочисленные обломки известняков, доломитов и ангидритов, заключенных в карбонатно-глинистую основную массу [10]. Иногда на месте построек образуются карстовые воронки, заполненные перекрывающими солями. Рифогенные образования имеют весьма специфическое поровое пространство [11]. К первичным относятся пустоты в органических остатках и межгранулярные. Определяющая роль в оценке емкостной характеристики пород принадлежит вторичным пустотам [12]. Последние связаны с интенсивными процессами перекристаллизации, доломитизации и выщелачивания. Биогенные доломиты были более

подвержены этим процессам, чем хемогенные. Они подверглись сплошной перекристаллизации, иногда с реликтами форменных образований [13].

В хемогенных доломитах преобладает рассеянная перекристаллизация, иногда прожилковая. Активное выщелачивание в зоне свободного водообмена вело к возникновению каверн различной величины [14].

Статистическая обработка имеющегося фактического материала (керн) по коллекторским свойствам показала очень неравномерное распределение пустотности (пористости). Поры возникли в результате выщелачивания форменных образований в местах рыхлой упаковки зерен эпигенетического доломита, по цементирующему веществу в межзерновых пространствах, по трещинам и стилолитовым швам. Размеры их самые различные: от пор 0,05 мм до каверн 2,5×3 см [15]. Наиболее интенсивное проявление глубинного карста отмечено в центральной части и на отдельных участках юго-западного периклиналильного окончания рассматриваемого региона, где экологические условия благоприятствовали максимальному развитию органического мира. Средние значения открытой пористости здесь составляют 5,6–10,2 %, а пределы, в которых колеблется этот параметр – 0,8–19 %.

Рифообразование в нижнем кембрии происходило в условиях регрессивного цикла осадконакопления [1]. Это обстоятельство не позволило постройкам длительно развиваться вверх и способствовало латеральному распространению органогенных карбонатных горизонтов. Максимальный рост построек, скорее всего, происходил на обращенной к более глубокой части моря стороне [16].

Выделение единичных рифогенных построек в осинском горизонте нижнего кембрия на основании анализа сейсмоамплитуд. Одним из основных методов выделения и картирования рифогенных построек нижнекембрийского возраста является 2D- и 3D-сейсморазведка методом общей глубинной точки. По данным сейсмических исследований на территории Непско-Ботуобинской антеклизы выявляются зоны развития как линейных, так и одиночных карбонатных

построек. Впервые вопросы локального прогноза органогенных построек юго-восточного склона Непско-Ботуобинской антеклизы (Игнялинский риф) по данным интерпретации 2D-сейсморазведочных работ были детально рассмотрены в работе Н.В. Мышевского [17]. Следующим важным этапом в развитии проблемы локального прогноза органогенных построек на территории Непско-Ботуобинской антеклизы стали работы геологов компании «РН-Эксплорейшн» [18].

Основные особенности, выявленные при анализе данных сейсмических исследований, заключаются в разнообразии рифогенных построек, а именно в различии их размеров, форм, волновых характеристик, а также строения и состава. Основным характерным кри-

терием для выделения одиночной рифогенной постройки является различие пластовых скоростей в рифогенных постройках, которые варьируют в пределах от 7500 до 9500 мкс/м. Также отмечается уменьшение акустической жесткости в районе «кольцевых аномалий» (рис. 2).

На рис. 3 отображен пример выделения карбонатных построек по данным 2D- и 3D-съемки. По таким признакам, как увеличение амплитуды положительного отражения кольцевой формы и уменьшение акустической жесткости, появляется возможность интерпретировать сейсмические данные 2D- и 3D-съемки и обнаруживать одиночные рифогенные постройки в карбонатном коллекторе осинского горизонта.

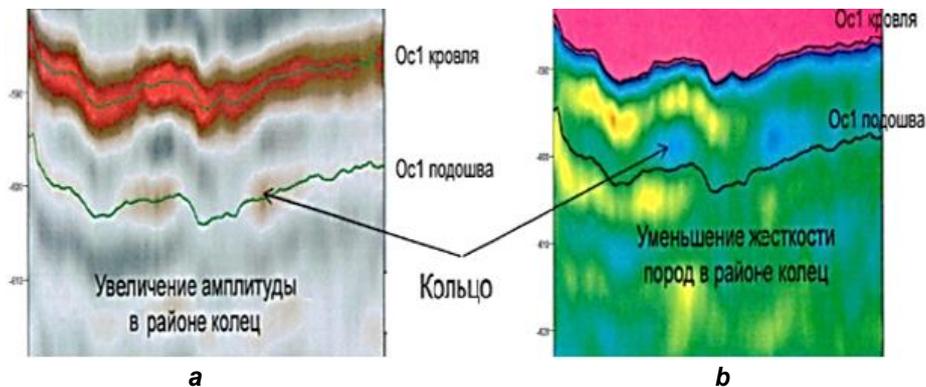


Рис. 2. Данные 3D-съемки с выделением рифогенных построек в осинском горизонте [19]:
a – разрез по кубу амплитуд; b – разрез по кубу акустического импеданса

Fig. 2. 3D survey data with reef structures identification in the Osinsky horizon [19]:
a – section along the cube of amplitudes; b – section along the cube of acoustic impedance

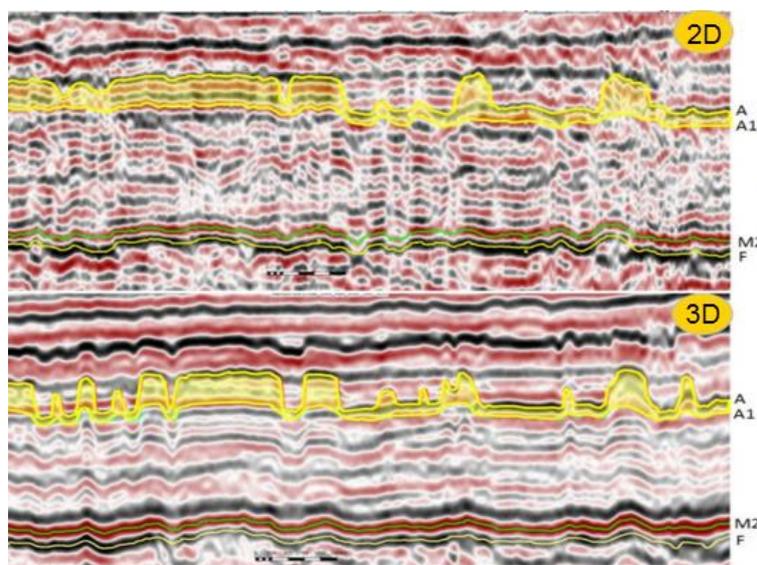


Рис. 3. Сравнение данных 2D- и 3D-сейсморазведки через рифовые постройки осинского горизонта [11]
Fig. 3. Comparison of 2D and 3D seismic data through the reef structures of the Osinsky horizon [11]



Из анализа временных толщин надосинских солей следует, что центральные части колец приурочены к зонам увеличения толщины солевой пачки. Это говорит о вероятном уплотнении внутренней части. Данный факт подтверждает соответствие выделенных объектов одиночным патч-рифам, где внутренней частью являются лагунные отложения с пониженными фильтрационно-емкостными

свойствами (рис. 4). На рис. 4 области замкнутых аномалий отображены зелеными линиями контура.

По изменению амплитуды в пределах «колец» выделяются различные фациальные зоны (рис. 5). По скважинным данным эти фациальные зоны характеризуются различными коллекторскими свойствами.

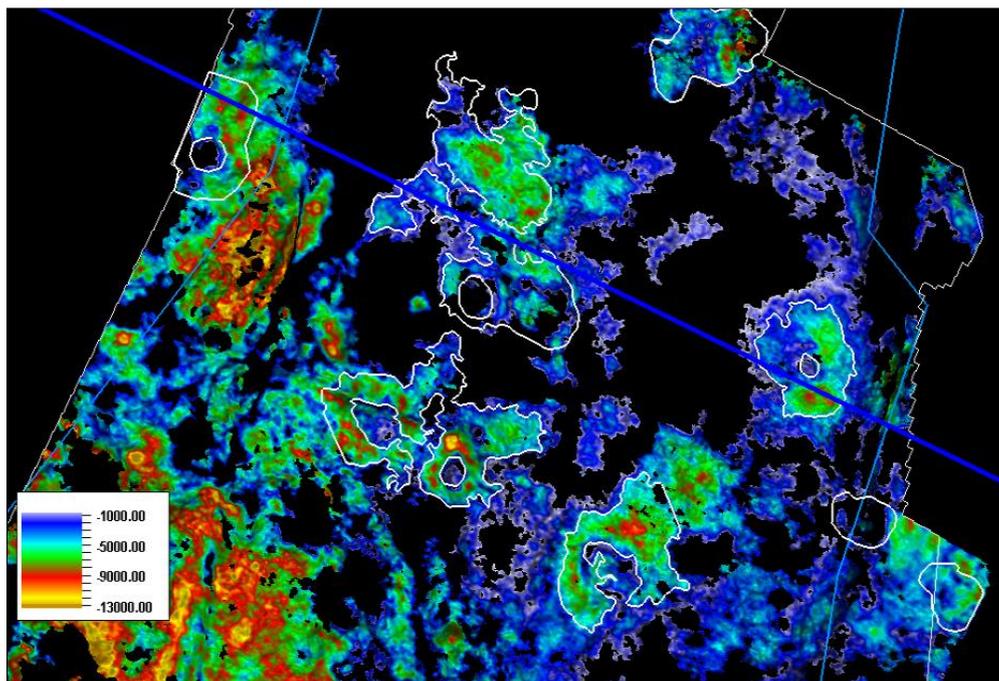


Рис. 4. Рифогенные постройки, выделенные в интервале осинского горизонта в пределах Непско-Ботубобинской антеклизы [20]

Fig. 4. Reef structures identified in the interval of the Osinsky horizon within the Nepa-Botuoba antecline [20]

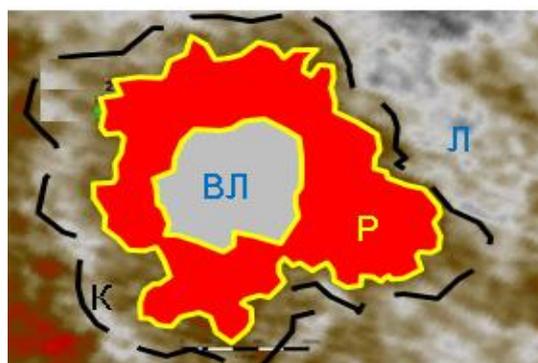


Рис. 5. Фациальная зональность колец:

ВЛ – внутририфовая лагуна в центре кольца; Р – рифовый гребень, представленный органогенными постройками; К – краевая зона рифа, переходная от рифовых отложений к лагунным; Л – внерифовая лагуна

Fig. 5. Facial zoning of rings:

ВЛ – intra-reef lagoon in the center of the ring; Р – reef ridge represented by organogenic structures; К – marginal reef zone, transitional from reef to lagoon deposits; Л – off-reef lagoon



По скважинным данным исследуемое сейсмическое отражение приурочено к средней части пласта ОС₁, где происходит наиболее существенное изменение коллекторских свойств. В скважинах, находящихся в кольцевой аномалии (красная зона), происходит повышение эффективных толщин. Основными методами для выделения зон колец по скважинам являются метод нейтронного гамма-каротажа и метод измерения интервального времени пробега продольной волны.

Заключение

Комплексный анализ материалов 2D- и 3D-сейсморазведки методами общей глубинной точки, нейтронного гамма-каротажа,

а также измерения интервального времени пробега продольной волны позволил по определенному алгоритму выделить в карбонатном разрезе северо-восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы отдельные образования органогенных (рифогенных) построек. На основе разработок и подходов, которые помогают выявить органогенные постройки как аномалиеобразующие объекты геологоразведочных работ по совокупности признаков в волновом поле, автором было исследовано несколько перспективных участков. По результатам данного исследования были подготовлены рекомендации по изучению новых объектов, наиболее значимых по комплексу признаков.

Список литературы

1. Шемин Г.Г. Геология и перспективы нефтегазосности венда и нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы (Непско-Ботуобинская, Байкитская антеклизы и Катангская седловина): монография. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 467 с.
2. Twenhofel W.H. Pre-Cambrian and Carboniferous algal with deposits // *American Journal of Science*. 1919. Vol. 48. Iss. 3. P. 339–352.
3. Rigby J.K. Reefs and reefs environments // *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*. 1969. Vol. 53. Iss. 3. P. 738.
4. Жемчугова В.А., Федотов С.Л. Прогнозирование природных резервуаров в разрезе верхнекаменноугольно-нижнепермской карбонатной толщи Тимано-Печорской провинции // *Геология горючих ископаемых европейского северо-востока России: труды Института геологии Коми НЦ УрО РАН*. Вып. 92. Сыктывкар, 1998. С. 63–67.
5. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Кембрий Сибирской платформы: монография. В 2 т. Т. 1: Стратиграфия / ред. Ю.Я. Шабанов. Новосибирск: Изд-во ИНГГ СО РАН, 2016. 497 с.
6. Хабаров Е.М. Сравнительная характеристика позднекембрийских рифогенных формаций. Новосибирск: Наука, 1985. 125 с.
7. Ильин В.Д., Фортунатова Н.К. Методы прогнозирования и поисков нефтегазоносных рифовых комплексов. М.: Недра, 1988. 199 с.
8. Задорожная Н.М. Некоторые аспекты эволюции ископаемых органогенных построек // *Тезисы докладов 30-й сессии Всесоюзного палеонтологического общества*. Львов, 1984. С. 34–36.
9. Кузнецов В.Г. Эволюция карбонатонакопления в истории Земли. М.: ГЕОС, 2003. 260 с.
10. Петров П.Ю., Семихатов М.А. Верхнерифейский строматолитовый рифовый комплекс: свита буровой Туруханского района Сибири // *Литология и полезные ископаемые*. 1998. № 6. С. 604–628.
11. Фомин А.Е., Батищева А.М., Гайдук А.В., Филичев А.В. Выделение перспективных в нефтегазовом отношении объектов в подсолевом карбонатном интервале разреза Непского свода Непско-Ботуобинской антеклизы по данным сейсморазведки 2D и 3D // *ГеоБайкал-2016: материалы конф.* Иркутск, 2016. С. 1–6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201601689>
12. Fenton C.L., Fenton M.A. Algae and algal beds in the belt series of Glacier National Park // *The Journal of Geology*. 1931. Vol. 39. Iss. 7. P. 670–686.
13. Уилсон Дж.Л. Карбонатные фации в геологической истории / пер. с англ. М.: Недра, 1980. 463 с.
14. Nelson H.F., Brown C.W., Brineman J.H. Skeletal limestone classification // *Classification of carbonate rocks: a symposium. Mem. American Association of Petroleum Geologists*. 1962. Vol. 1. P. 224–253.
15. Задорожная Н.М. Типизация и классификации рифогенных формаций // *Биота как фактор геоморфологии и геохимии. Рифогенные формации и рифы в эволюции биосферы: материалы конф.* М.: Изд-во ПИН РАН, 2009. С. 36–39.
16. Калинкина Л.И., Шутов Г.Я. Рифогенные отложения среднекембрийской подсвиты Непского свода юга Сибирской платформы // *Советская геология*. 1981. № 1. С. 68–72.
17. Мышевский Н.В. Игнялинский барьерный риф – новый перспективный объект на Непском своде // *Геология и геофизика*. 1991. № 11. С. 99–107.
18. Гайдук А.В., Митюков А.В., Филичев А.В., Мордвинцев М.В. Выявление перспективных и высокопродуктивных залежей углеводородов в древнем вендраннекембрийском осадочном чехле Непско-Ботуобинской антеклизы на основании интерпретации современных геофизических данных // *ГеоБайкал-2016: материалы конф.* Иркутск, 2016. С. 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201601731>



19. Постникова О.В., Фомичева Л.Н., Соловьева Л.В., Пошибаева В.В., Коновальцева Е.С. Природные резервуары рифей-венд-кембрийского осадочного бассейна юга Сибирской платформы: особенности строения и закономерности размещения // Геология нефти и газа. 2010. № 6. С. 54–64.

20. Гайдук А.В., Альмендингер О.А. Условия формирования и критерии прогноза зон улучшенных коллекторских свойств древних венд-кембрийских резервуаров (на примере Даниловского лицензионного участка (Восточная Сибирь)) // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». 2013. № 1. С. 10–13.

References

1. Shemin GG. *Geology and prospects of oil and gas potential of the Vendian and Lower Cambrian central regions of the Siberian platform (Nepa-Botuoba, Baykitskaya anteklise and Katanga saddle)*. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2007. 467 p. (In Russ.)

2. Twenhofel WH. Pre-Cambrian and Carboniferous algal with deposits. *American Journal of Science*. 1919;48(3):339–352.

3. Rigby JK. Reefs and reefs environments. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*. 1969;53(3):738.

4. Zhemchugova VA, Fedotov SL. Forecasting of natural reservoirs in the section of the Upper-carboniferous Lower Permian carbonate strata of the Timan-Pechora province. *Geologiya goryuchikh iskopaemykh evropeiskogo severo-vostoka Rossii: trudy Instituta geologii Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk = Geology of fossil fuels in the European North-East of Russia: Proceedings of the Institute of Geology of Komi Science centre of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. Iss. 92. Syktyvkar; 1998. p.63–67. (In Russ.)

5. Shabanov YuYa. *Stratigraphy of Siberian oil and gas basins. Cambrian of the Siberian Platform*. In 2 vol. Vol. 1: *Stratigraphy*. Novosibirsk: Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2016. 497 p. (In Russ.)

6. Khabarov EM. *Comparative characteristics of Late Precambrian rift formations*. Novosibirsk: Nauka; 1985. 125 p. (In Russ.)

7. Il'in VD, Fortunatova NK. *Forecasting and searching methods of oil and gas-bearing reef complexes*. Moscow: Nedra; 1988. 199 p. (In Russ.)

8. Zadorozhnaya NM. Some evolution aspects of fossil organogenic structures. *Tezisy dokladov 30-i sessii Vsesoyuznogo paleontologicheskogo obshchestva = Abstracts of the 30th session of the All-Union Paleontological Society*. Lvov; 1984. p.34–36. (In Russ.)

9. Kuznetsov VG. *Evolution of the carbonate formation in the Earth's history*. Moscow: GEOS; 2003. 260 p. (In Russ.)

10. Petrov PYu, Semikhatov MA. Upper Riphean stromatolite reef complex: drillsite formation in the Turukhansk region of Siberia. *Litologiya i poleznye iskopaemye*. 1998;6:604–628. (In Russ.)

11. Fomin AE, Batishcheva AM, Gaiduk AV, Filichev AV. Identification of petroleum prospects in subsalt carbonate section of Nepa-Botuoba anteklise by 2D and 3D seismic data. *GeoBaikal-2016*. Irkutsk; 2016. p.1–6. (In Russ.) <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201601689>

12. Fenton CL, Fenton MA. Algae and algal beds in the belt series of Glacier National Park. *The Journal of Geology*. 1931;39(7):670–686.

13. Wilson JL. Carbonate facies in geologic history; 1975. 471 p. (Russ. ed.: *Karbonatnye fatsii v geologicheskoi istorii*. Moscow: Nedra; 1980. 463 p.)

14. Nelson HF, Brown CW, Brineman JH. Skeletal limestone classification. *Classification of carbonate rocks: a symposium. Mem. American Association of Petroleum Geologists*. 1962;1:224–253.

15. Zadorozhnaya NM. Typification and classification of reef formations. *Biota kak faktor geomorfologii i geokhimii. Rifogennyye formatsii i rify v evolyutsii biosfery: materialy konferentsii = Biota as a factor of geomorphology and geochemistry. Reef formations and reefs in biosphere evolution: conference proceedings*. Moscow: Borissiak Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences; 2009. p.36–39. (In Russ.)

16. Kalinkina LI, Shutov GYa. Rifogenic deposits of the Middle Mot subformation of the Nepa arch of the southern Siberian platform. *Sovetskaya geologiya*. 1981;1:68–72. (In Russ.)

17. Myshevskii NV. Ignyalinsky barrier reef – a new promising object on the Nepa arch. *Geologiya i geofizika*. 1991;11: 99–107. (In Russ.)

18. Gaiduk AV, Mityukov AV, Filichev AV, Mordvintsev MV. Identification of prespective hydrocarbon deposits in the Vendian-Cambrian sedimentary cover Nepa-Botuoba anteklise. *GeoBaikal-2016*. Irkutsk; 2016. p.1–7. (In Russ.) <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201601731>

19. Postnikova OV, Fomicheva LN, Solovieva LV, Poshibayev VV, Konovaltseva ES. Natural reservoirs of Riphean-Vendian-Cambrian sedimentary basin of south of Siberian platform: features of structure and distribution regularities. *Geologiya nefi i gaza = Oil and Gas Geology*. 2010;6:54–64. (In Russ.)

20. Gaiduk AV, Almendinger OA. Formation conditions and criteria for prediction of areas of improved reservoir properties ancient Vendian-Cambrian reservoirs (for example, Danilovskiy license area (East Siberia)). *Nauchno-tekhnicheskii vestnik OAO «NK «Rosneft»*. 2013;1:10–13. (In Russ.)

**Сведения об авторах / Information about the authors****Уренко Роман Сергеевич,**

аспирант,

Институт земной коры СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,

✉ e-mail: urenko240196@mail.ru

Roman S. Urenko,

Postgraduate Student,

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,

✉ e-mail: urenko240196@mail.ru

**Вахромеев Андрей Гелиевич,**доктор геолого-минералогических наук,
заведующий Лабораторией геологии нефти и газа,Институт земной коры СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,

e-mail: andrey_igr@mail.ru

Dr. Sci. (Geol. & Mineral.),

Head of the Oil and Gas Laboratory,

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,

e-mail: andrey_igr@mail.ru

Заявленный вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.***Информация о статье / Information about the article**

Статья поступила в редакцию 05.10.2020; одобрена после рецензирования 20.01.2021; принята к публикации 24.02.2021.

The article was submitted 05.10.2020; approved after reviewing 20.01.2021; accepted for publication 24.02.2021.