

УДК 550.834.017

DOI 10.47148/0016-7894-2024-3-19-30

Технологические аспекты и опыт стратиграфического бурения в морях российской Арктики

© 2024 г. | Н.А. Малышев¹, В.Е. Вержбицкий¹, А.А. Колюбакин³, Д.К. Комиссаров¹, А.А. Бородулин¹, В.В. Обметко¹, А.Б. Попова², С.М. Данилкин², И.С. Васильева², Т.А. Тимошенко², Г.Н. Александрова⁴, Ю.А. Гатовский⁵, А.А. Суслова^{5,6}, А.М. Никишин³

¹ПАО «НК «Роснефть», Москва, Россия; n_malyshv@rosneft.ru; v_verzhbitskiy@rosneft.ru; dk_komissarov@rosneft.ru; a_borodulin@rosneft.ru; v_obmetko@rosneft.ru

²ООО «Арктический научно-проектный центр шельфовых разработок», Москва, Россия; AV_Popova2@arc.rosneft.ru; sm_danilkin@arc.rosneft.ru; IS_Vasileva@arc.rosneft.ru; TA_Timoshenko@arc.rosneft.ru

³ООО «РН-Эксплорейшн», Москва, Россия; a_kolubakin@rn-exp.rosneft.ru; amnikishin@gmail.com

⁴Геологический институт РАН, Москва, Россия; secretary_gin@ginras.ru

⁵Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия; ustas62@bk.ru

⁶Фонд «НИР» (бренд «Иннопрактика»), Москва, Россия; a.suslova@oilmsu.ru

Поступила 25.10.2023 г.

Доработана 30.03.2024 г.

Принята к печати 11.04.2024 г.

Ключевые слова: *стратиграфическое бурение; российская Арктика; инновационные технологии; осадочные бассейны; датирование пород; лабораторно-аналитические исследования; сейсмогеологическая модель; экспедиции; керн; комплексный анализ; перспективы нефтегазоносности.*

Аннотация: Начиная с 2020 г. ПАО «НК «Роснефть» приступила к реализации уникальной программы по стратиграфическому бурению в морях российской Арктики — RoSDAr (Rosneft Stratigraphic Drilling in Arctic). Основная задача проекта — получить прямые данные о геологическом строении малоизученных частей арктического шельфа, на которых ранее не проводилось поисковое и параметрическое бурение. Для этого были разработаны ключевые технологические аспекты реализации программы стратиграфического бурения для всех морей российской Арктики. Проведение таких работ включает комплексирование буровых методов, геофизических исследований скважин и высокочастотных сейсмоакустических съемок на основе отечественных методологических подходов и инновационного оборудования, разработанного специально под задачи проекта. Технологии, реализуемые в ходе проекта, позволяют работать в труднодоступных арктических регионах. За время реализации проекта (2020–2023 гг.) проведены масштабные работы на севере Карского моря, в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском, отобран уникальный геологический материал. Получаемые данные позволяют снять ключевые геологические неопределенности, касающиеся пород осадочного чехла исследуемых регионов: их возраста, состава, условий формирования, геохимических и геофизических параметров, элементов нефтегазовых систем и т. д. Принципиально важной частью реализации проекта является комплексирование данных анализа керна стратиграфических скважин с результатами предыдущих геолого-геофизических работ, что позволяет получить максимально достоверные модели изучаемых регионов для обоснованного прогноза их нефтегазоносности и повышения эффективности геолого-разведочных работ. Реализуемая программа малоглубинного стратиграфического бурения является одной из ключевых вех геологических исследований арктического шельфа, имеющих не только уникальное фундаментальное научное, но и первоочередное прикладное значение для дальнейшего освоения российской Арктики.

Реализуемый ПАО «НК «Роснефть» проект по стратиграфическому бурению в малоизученных осадочных бассейнах морей российской Арктики нацелен на снятие ключевых геологических неопределенностей, связанных с представлениями о возрасте, составе, условиях формирования и нефтегазовых системах пород осадочного чехла. Получаемые новые данные используются для построения максимально достоверных моделей геологического строения изучаемых регионов для обоснованного прогноза их нефтегазоносности, что, в свою очередь, приведет к повышению эффективности геолого-разведочных работ.

Для цитирования: Малышев Н.А., Вержбицкий В.Е., Колюбакин А.А., Комиссаров Д.К., Бородулин А.А., Обметко В.В., Попова А.Б., Данилкин С.М., Васильева И.С., Тимошенко Т.А., Александрова Г.Н., Гатовский Ю.А., Суслова А.А., Никишин А.М. Технологические аспекты и опыт стратиграфического бурения в морях российской Арктики // Геология нефти и газа. — 2024. — № 3. — С. 19–30. DOI: 10.47148/0016-7894-2024-3-19-30.

Благодарности: Коллектив авторов выражает свою благодарность Управляющему директору компании АО «Арктические морские инженерно-геологические экспедиции» (АМИГЭ) В.В. Хомбаку и экипажу бурового судна «Бавенит» за профессиональную многолетнюю работу и успешное решение научно-производственных задач в суровых условиях шельфа Арктики.

Technological aspects and experience of stratigraphic drilling in the seas of the Russian Arctic

© 2024 | N.A. Malyshev¹, V.E. Verzhbitskiy¹, A.A. Kolyubakin³, D.K. Komissarov¹, A.A. Borodulin¹, V.V. Obmetko¹, A.B. Popova², S.M. Danilkin², I.S. Vasilyeva², T.A. Timoshenko², G.N. Aleksandrova⁴, Yu.A. Gatovsky⁵, A.A. Suslova^{5,6}, A.M. Nikishin³

OIL AND GAS POTENTIAL AND GEOLOGICAL EXPLORATION RESULTS

¹Rosneft Oil Company, Moscow, Russia; n_malyshev@rosneft.ru; v_verzhbitskiy@rosneft.ru; dk_komissarov@rosneft.ru; a_borodulin@rosneft.ru; v_obmetko@rosneft.ru

²LLC Arctic Research Centre, Moscow, Russia; AB_Popova2@arc.rosneft.ru; sm_danilkin@arc.rosneft.ru; IS_Vasileva@arc.rosneft.ru; t_timoshenko1@rn-exp.rosneft.ru

³LLC RN-Exploration, Moscow, Russia; a_kolubakin@rn-exp.rosneft.ru; amnikishin@gmail.com

⁴Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; secretary_gin@ginras.ru

⁵Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ustas62@bk.ru

⁶National Intellectual Resource Foundation (Innopraktika), Moscow, Russia; a.suslova@oilmsu.ru

Received 25.10.2023

Revised 30.03.2024

Accepted for publication 11.04.2024

Key words: *Stratigraphic drilling; Russian Arctic; innovative technologies; sedimentary basins; dating of rocks; laboratory and analytical studies; geoseismic model; expeditions; core; integrated analysis; petroleum potential.*

Abstract: Starting from 2020, Rosneft Oil Company has launched a unique program of stratigraphic drilling in the Russian Arctic seas — RoSDAr (Rosneft Stratigraphic Drilling in Arctic). The main objective of the project is to obtain direct data on geological structure of underexplored parts of the Arctic shelf, where no exploratory and parametric drilling has been carried out before. For this purpose, key technological aspects of the stratigraphic drilling program implementation for all the Russian Arctic seas were developed. These works include integration of drilling methods, wells geophysical studies and high-frequency seismoacoustic surveys based on domestic methodological approaches and innovative equipment designed specifically for the tasks of the project. The technologies used during the project make it possible to work in hard-to-reach Arctic regions. During the project implementation (2020–2023), large-scale works were carried out in the Kara Sea north, in the Laptev, East Siberian and Chukchi seas; and unique geological material was obtained. The acquired data make it possible to resolve key geological uncertainties related to sedimentary rocks of the studied regions: age, composition, formation conditions, geochemical and geophysical parameters, elements of petroleum systems, etc. Integration of core analysis data from stratigraphic wells with the results of previous geological and geophysical works is an essential part of the project implementation, which allows us creating the most reliable models of the studied regions for a reasoned forecast of their petroleum potential, and increasing the efficiency of exploration works. The implemented program of near-surface stratigraphic drilling is one of the key milestones of the Arctic shelf geological research having not only a unique fundamental scientific, but also primary applied significance for further development of the Russian Arctic.

Rosneft's project on stratigraphic drilling implemented in underexplored sedimentary basins of the Russian Arctic seas is aimed at resolving the current key geological uncertainties related to the age, composition, formation conditions and petroleum systems of sedimentary cover rocks. The new data obtained are used to create the most reliable geostructural models of the studied regions with the purpose of reasonable forecast of their oil and gas content, which in turn will result in increase in geological exploration efficiency.

For citation: Malyshev N.A., Verzhbitskii V.E., Kolyubakin A.A., Komissarov D.K., Borodulin A.A., Obmetko V.V., Popova A.B., Danilkin S.M., Vasil'eva I.S., Timoshenko T.A., Aleksandrova G.N., Gatovskii Yu.A., Suslova A.A., Nikishin A.M. Technological aspects and experience of stratigraphic drilling in the seas of the Russian Arctic. *Geologiya nefti i gaza*. 2024;(3):19–30. DOI: 10.47148/0016-7894-2024-3-19-30. In Russ.

Acknowledgments: The authors wish to acknowledge Vitaly V. Khombak, Chief Operating Officer, Arctic Offshore Geoengineering Expedition (AMIGE), and crew of the Bavenit drilling ship for many years of professional work and successful solution of research tasks in harsh conditions of the Arctic shelf.

Введение

Широко известно, что с осадочными бассейнами российской Арктики связан значительный нефтегазовый потенциал, существенный для восполнения ресурсной базы страны. Например, согласно современной оценке Роснедр, континентальный арктический шельф РФ содержит более 85 трлн м³ природного газа и 17 млрд т нефти (Петров Е.И., 2022, устное сообщение).

При этом, наряду с хорошо изученными осадочными бассейнами с доказанной нефтегазонасностью, расположенными в Западной Арктике (Тимано-Печорский, Восточно-Баренцевский и Южно-Карский), на арктическом шельфе выделяется ряд крупных бассейнов, в пределах которых, за редким исключением, месторождения УВ еще не открыты. Это касается, прежде всего, Восточной Арктики и связано с отсутствием здесь скважин глубокого бурения (параметрических и поисково-оце-

ночных). Тем не менее, для большинства из этих бассейнов на основе ряда геологических, геофизических и геохимических критериев обоснованно предполагаются их высокие перспективы для поисков месторождений нефти и газа. Речь здесь идет о Северо-Карском, а также об осадочных бассейнах морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. Ключевыми геологическими неопределенностями для этих малоизученных частей арктического шельфа являются представления о возрастном диапазоне, составе, фациальных обстановках формирования пород осадочного чехла и, как следствие, элементах УВ-систем, включающих нефтегазоматеринские толщи, породы-коллекторы и флюидопоры.

В этих условиях ключевой задачей для определения оптимальной долгосрочной стратегии геолого-разведочных работ с целью комплексного освоения российского шельфа Арктики является

снижение геологических неопределенностей и рисков, связанных с отсутствием данных глубокого бурения для значительной части северной акватории. При отсутствии материалов параметрического и поискового бурения эта задача может быть решена путем разработки технологии и реализации программы стратиграфического бурения, позволяющей отбирать керн из целевых горизонтов, слагающих осадочный бассейн. Представительные образцы горных пород из различных стратиграфических уровней осадочного чехла служат прямым источником геологической информации, касающейся всего перспективного осадочного бассейна.

Программа стратиграфического бурения

Начиная с 2020 г. ПАО «НК «Роснефть» приступила к реализации уникальной программы по стратиграфическому бурению в морях российской Арктики — RoSDar (Rosneft Stratigraphic Drilling in Arctic) (рис. 1).

В 2020 г. были проведены пионерные работы в пределах Северо-Карского осадочного бассейна, где пробурено 10 скважин глубиной по грунту от 40 до 90 м, получено более 300 м керна [1]. В 2021 г. работы были продолжены в акватории моря Лаптевых (пробурено 6 скважин глубиной от 100 до 199,5 м, получено 415 м керна), в 2022 г. — в Чукотском море (2 скважины глубиной 242 и 332 м, получено 327 м керна), в 2023 г. — в Чукотском (5 скважин глубиной от 176 до 453 м, получено 715 м керна) и Восточно-Сибирском (3 скважины глубиной от 201 до 286 м, получено 275 м керна) морях. Всего по программе ПАО «НК «Роснефть» за время реализации проекта в 2020–2023 гг. было пробурено 26 стратиграфических скважин и получено более 2000 м керна, характеризующего разновозрастные уровни осадочного чехла на российской территории Арктики.

С учетом принципиальной важности и уникальности получаемого каменного материала, была разработана комплексная программа современных лабораторно-аналитических работ, включающая, прежде всего, биостратиграфические, а также литолого-седиментологические, геохимические, геохронологические, термохронологические исследования, реконструкцию источников сноса обломочного материала, изучение фильтрационно-емкостных свойств пород, их геофизических характеристик и т. д. Программа исследований реализуется на лабораторной базе компании «Иннопрактика» и геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова с привлечением ведущих отечественных научных и производственных центров. Отдельной последующей задачей является интеграция данных, полученных по керну стратиграфических скважин, в сейсмические интерпретационные проекты по изученным регионам, а также их учет при актуализации бассейновых моделей.

Следует также отметить, что в 2022 г. совместно с программой стратиграфического бурения ПАО «НК «Роснефть» в Чукотском море и при ее содействии по инициативе Роснедра было осуществлено бурение первой скважины на арктическом континентальном шельфе в рамках программы по обоснованию внешней границы континентального шельфа РФ [2]. Скважина DL-1 была пробурена в северо-западной части Восточно-Сибирского моря в районе подводного поднятия Де-Лонга (см. рис. 1) и позволила впервые получить фактический материал для установления возраста и состава осадочного чехла этой части акватории восточно-арктического шельфа, а также провести привязку результатов бурения к имеющимся сейсмическим данным [2].

В дальнейшем продолжение подобных работ запланировано в ключевых малоизученных районах морей Западной и Восточной Арктики в зави-

Рис. 1. Обзорная карта реализации программы стратиграфического бурения в российской Арктике (2020–2023 гг.)
Fig. 1. Overview map of stratigraphic drilling program implementation in the Russian Arctic (2020–2023)

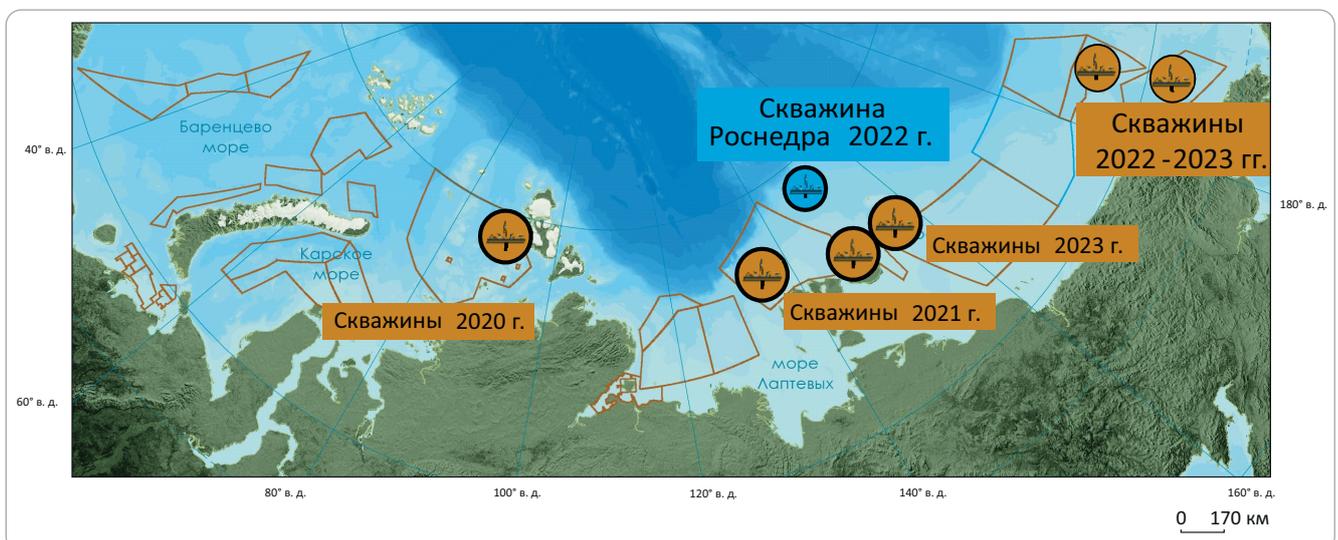
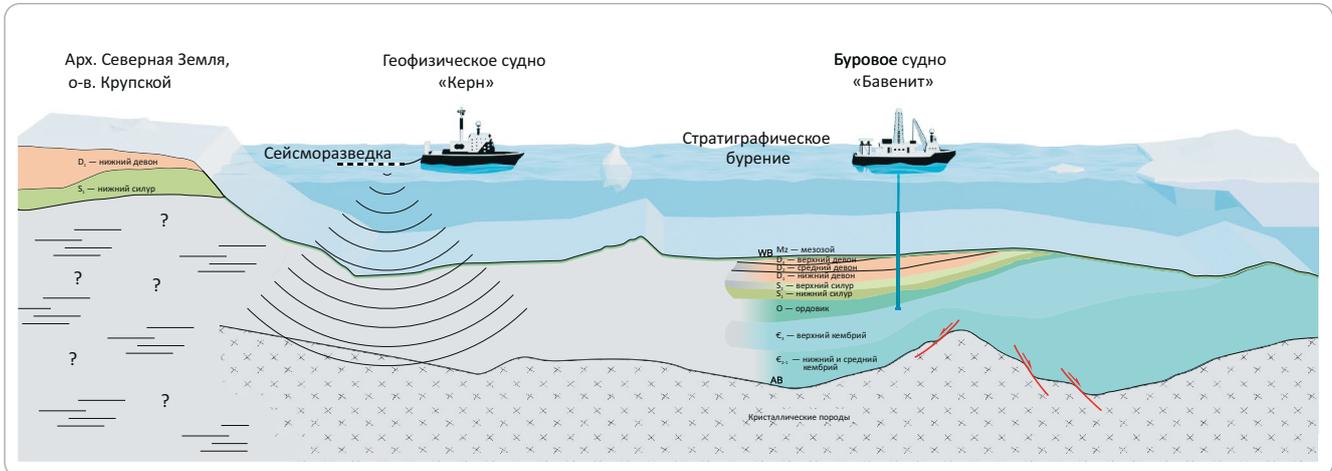




Рис. 2. Принципиальная схема применения технологии бурения малоуглубинных стратиграфических скважин на арктическом шельфе

Fig. 2. Schematics of shallow stratigraphic drilling on the Arctic shelf



симости от приоритетности задач по их геологическому изучению.

Технологические аспекты реализации работ

Реализация стратиграфического бурения подразумевает целый ряд технологических решений как на этапе подготовки скважин к бурению, так и непосредственно в ходе реализации бурения. Этот процесс можно принципиально разделить на две фазы (рис. 2): проведение высокочастотных сейсмоакустических съемок и собственно бурение скважин с последующими геофизическими исследованиями в них.

После выбора по сейсмическим данным 2D районов выхода целевых горизонтов вблизи морского дна (на глубину не более 500 м) проводится съемка с применением высокочастотных сейсмоакустических методов для повышения разрешающей способности в верхней части разреза и уточнения положения горизонтов, а также минимизации рисков, связанных с опасными инженерно-геологическими факторами [3]. В ходе работ применялась технология с использованием сейсмоакустического кос с погруженной и приповерхностной системами, что позволяет существенно повысить ее разрешающую способность и снизить воздействие акустических шумов.

После выбора местоположения скважин, оценки глубины бурения и интервала отбора керна работы выполняются уже непосредственно специализированным буровым научно-исследовательским судном «Бавенит» (рис. 3). Это судно способно выполнять бурение инженерно-геологических/параметрических скважин на глубину до 500 м на мелководье. При планировании работ в Восточной Арктике глубина всех намеченных скважин превышала 100 м, что создавало определенные сложности при привязке отобранного керна к сейсмическому разрезу.

Учитывая малый диаметр буровых колонн системы, высокую вероятность осложнений и потери оборудования при бурении скважин, технологию работ расширили с применением инновационной системы вертикального сейсмического профилирования и термометрии. Последние были выполнены с помощью технологий DAS (distributed acoustic sensing) и DTS (distributed temperature sensing), которые основаны на принципе оптоволоконной регистрации обратного рэлеевского и рамановского рассеяний излучаемых лазерных импульсов (соответственно).

В качестве источника использовался электроискровой источник «Спаркер», а в качестве приемников — волоконно-оптическая распределенная система, которую спускали в буровую колонну для проведения сейсмоакустических работ непосредственно после завершения бурения. В результате в морях Восточной Арктики была выполнена высокоточная привязка интервалов отобранного керна к сейсмическому разрезу, а также получены данные термометрии по всей длине ствола скважин.

Ключевые выводы по геологическому строению изученных регионов

По большинству районов, изученных стратиграфическим бурением, в настоящее время продолжаются лабораторно-аналитические исследования и интеграция результатов в интерпретационные проекты и бассейновые модели. Тем не менее, уже сейчас можно сделать некоторые выводы, которые имеют принципиальное значение для понимания геологии арктических бассейнов.

Северо-Карский бассейн. В целом получила подтверждение модель строения основной части стратиграфического разреза Северо-Карского бассейна, по которой палеозойские отложения с резким угловым несогласием перекрываются субгоризонтально залегающим чехлом маломощных

Рис. 3. Специализированное буровое судно «Бавенит»
Fig. 3. Specialized Bavenit vessel



мезозойских отложений. Для палеозойского терригенно-карбонатного комплекса получены био-стратиграфические датировки в интервале позднего кембрия – позднего девона, для мезозойского терригенного – среднего триаса – раннего мела [1] (рис. 4). Установлено последовательное удревление возраста отдельных палеозойских осадочных комплексов по сравнению с принятой до бурения базовой моделью (рис. 5). Вопрос отнесения кембрийских отложений к образованиям фундамента или основанию чехла остается открытым и в настоящее время комплексно прорабатывается.

Море Лаптевых. Стратиграфические скважины вскрыли терригенный разрез, датированный преимущественно палинологическими методами и представленный нижнемеловыми (верхнебаррем-нижнеаптскими) породами позднемезозойского складчатого фундамента, перекрытыми с угловым несогласием отложениями чехла в интервале нижнего палеоцена – плейстоцена. Распространение позднемезозойского складчатого комплекса к северу от арх. Новосибирских островов впервые подтверждено прямыми геологическими данными. При этом может быть уточнен верхний возрастной предел становления тектонического фундамента изученной акватории, соответствующий раннему апту. Отсутствие в скважинах отложений верхнего апта – верхнего мела ниже эрозивной поверхности несогласия свидетельствует об их размыве или отсутствии и в целом может быть сопоставлено со временем воздымания западной части Новосибирских островов (арх. Анжу), которое, по данным низкотемпературной термохронологии, произошло ~ 125–93 млн лет [4]. В целом по сравнению с принятой до бурения базовой моделью

установлено последовательное омоложение возраста осадочных комплексов с существенным возрастанием роли кайнозойских отложений в стратиграфическом объеме осадочного чехла изученной части шельфа моря Лаптевых (рис. 6).

Восточно-Сибирское море. В 2022 г. по инициативе Роснедр было проведено малоглубинное стратиграфическое бурение скв. DL-1 с целью подготовки дополнительных геологических материалов для защиты заявки России по границам континентальных шельфов, поданной в Комиссию ООН [2]. В результате в разрезе скважины было установлено наличие деформированных отложений средней юры – нижнего мела, относящихся к позднемезозойскому фундаменту и несогласно перекрывающихся субгоризонтально залегающими кайнозойскими отложениями чехла, для верхней части которого получены раннемиоценовые датировки. В кровле нижнего комплекса предполагается наличие коры выветривания по аптско-альбским породам [2]. Полученные ПАО «НК «Роснефть» в 2023 г. данные бурения стратиграфических скважин в пределах лицензионного участка Восточно-Сибирский-1 (рис. 7) использованы для проведения комплексных лабораторно-аналитических исследований. Предполагается, что новые результаты в совокупности с полученными ранее в рамках бурения скв. DL-1 [2] помогут существенно уточнить геологическую модель [5, 6] и прогноз нефтегазоносности шельфа Восточно-Сибирского моря.

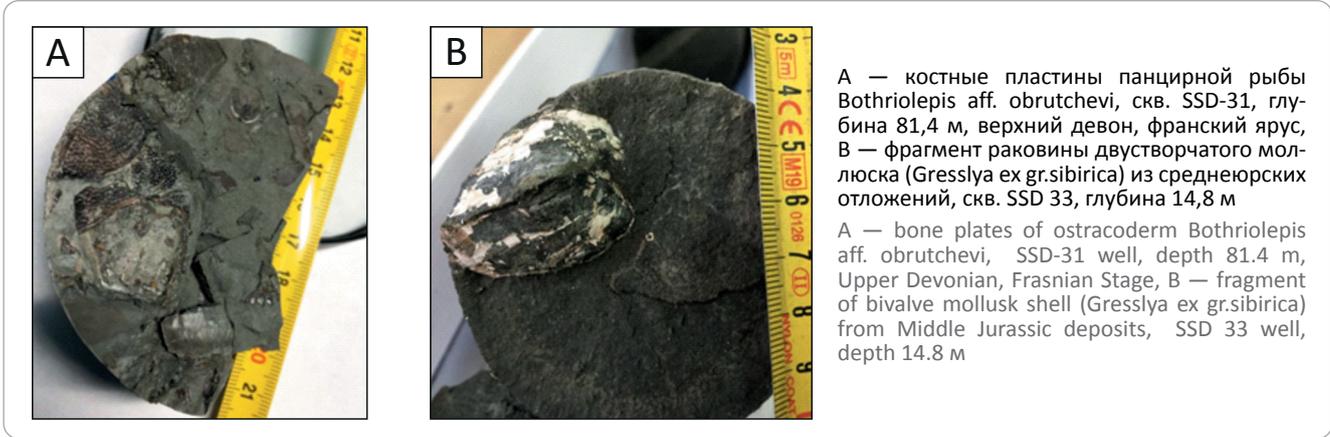
Чукотское море. В стратиграфической скв. SSDCH-11 вскрыт разрез терригенных отложений, датированных по результатам палинологических исследований в интервале от раннемеловых (аптских) до плейстоценовых. Впервые получены пря-



OIL AND GAS POTENTIAL AND GEOLOGICAL EXPLORATION RESULTS

Рис. 4. Примеры макрофаунистических находок в керне стратиграфических скважин в Северо-Карском бассейне (по [1] с дополнениями)

Fig. 4. Examples of macrofauna records in core from stratigraphic wells in the North Kara basin (from [1], complemented)

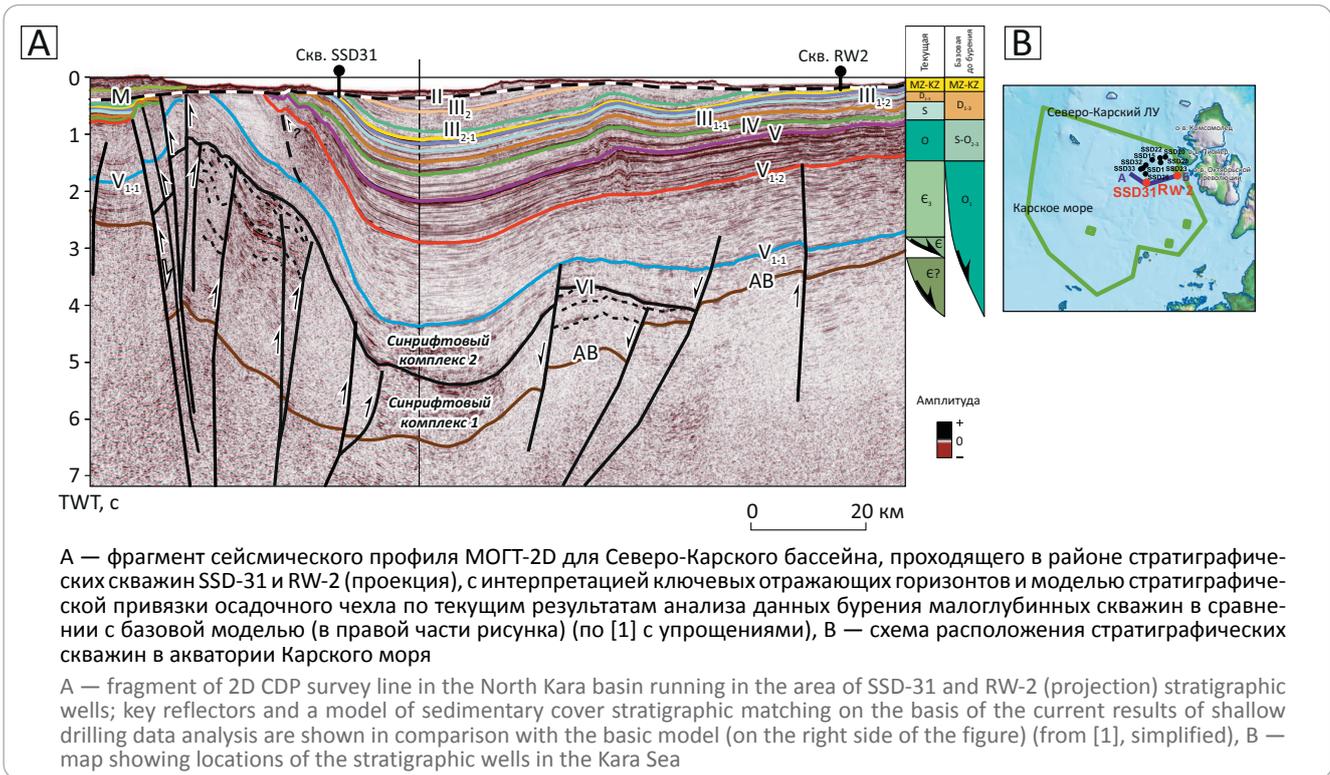


А — костные пластины панцирной рыбы *Bothriolepis* aff. *obrutchevi*, скв. SSD-31, глубина 81,4 м, верхний девон, франкий ярус, В — фрагмент раковины двусторчатого моллюска (*Gresslya* ex *gr. sibirica*) из среднеюрских отложений, скв. SSD 33, глубина 14,8 м

A — bone plates of ostracoderm *Bothriolepis* aff. *obrutchevi*, SSD-31 well, depth 81.4 m, Upper Devonian, Frasnian Stage, B — fragment of bivalve mollusk shell (*Gresslya* ex *gr. sibirica*) from Middle Jurassic deposits, SSD 33 well, depth 14.8 m

Рис. 5. Результаты стратиграфического бурения в Карском море

Fig. 5. Stratigraphic drilling results in the Kara Sea



А — фрагмент сейсмического профиля МОГТ-2D для Северо-Карского бассейна, проходящего в районе стратиграфических скважин SSD-31 и RW-2 (проекция), с интерпретацией ключевых отражающих горизонтов и моделью стратиграфической привязки осадочного чехла по текущим результатам анализа данных бурения малоглубинных скважин в сравнении с базовой моделью (в правой части рисунка) (по [1] с упрощениями), В — схема расположения стратиграфических скважин в акватории Карского моря

A — fragment of 2D CDP survey line in the North Kara basin running in the area of SSD-31 and RW-2 (projection) stratigraphic wells; key reflectors and a model of sedimentary cover stratigraphic matching on the basis of the current results of shallow drilling data analysis are shown in comparison with the basic model (on the right side of the figure) (from [1], simplified), B — map showing locations of the stratigraphic wells in the Kara Sea

мые данные о возрасте ключевой реперной границы (региональное угловое несогласие) в верхней части осадочного чехла Северо-Чукотского бассейна в российском секторе Чукотского моря (рис. 8, горизонт V). Данное несогласие имеет региональный характер и носит название Среднебрукский (поверхность MBU — Mid-Brookian), в американском секторе моря оно датировано примерно временным рубежом мела и палеогена [6]. Непосредственно ниже границы MBU установлен среднеальбский возраст пород, на которых несогласно залегают отложения нижнего палеоцена. Соответственно, в разрезе отсутствуют (размыты?) отложения верх-

него альба — верхнего мела. Эти выводы хорошо соотносятся с результатами трекового датирования апатитов по разновозрастным геологическим комплексам о-ва Врангеля, указывающими на поздне-меловое, кампан-маастрихтское термальное событие (эпизод воздымания ~72 ± 5 млн лет) [7]. В более поздней публикации по о-ву Врангеля приведены данные о большем диапазоне трековых возрастов по апатиту — от 75 до 65 млн лет (кампан — даний) [8]. Последнее может свидетельствовать о длительном воздымании и размыве изучаемой территории в конце позднего мела — начале палеоцена. Важно отметить, что с поздне-мел-палеоценовым собы-

Рис. 6. Результаты стратиграфического бурения в море Лаптевых
Fig. 6. Stratigraphic drilling results in the Laptev Sea

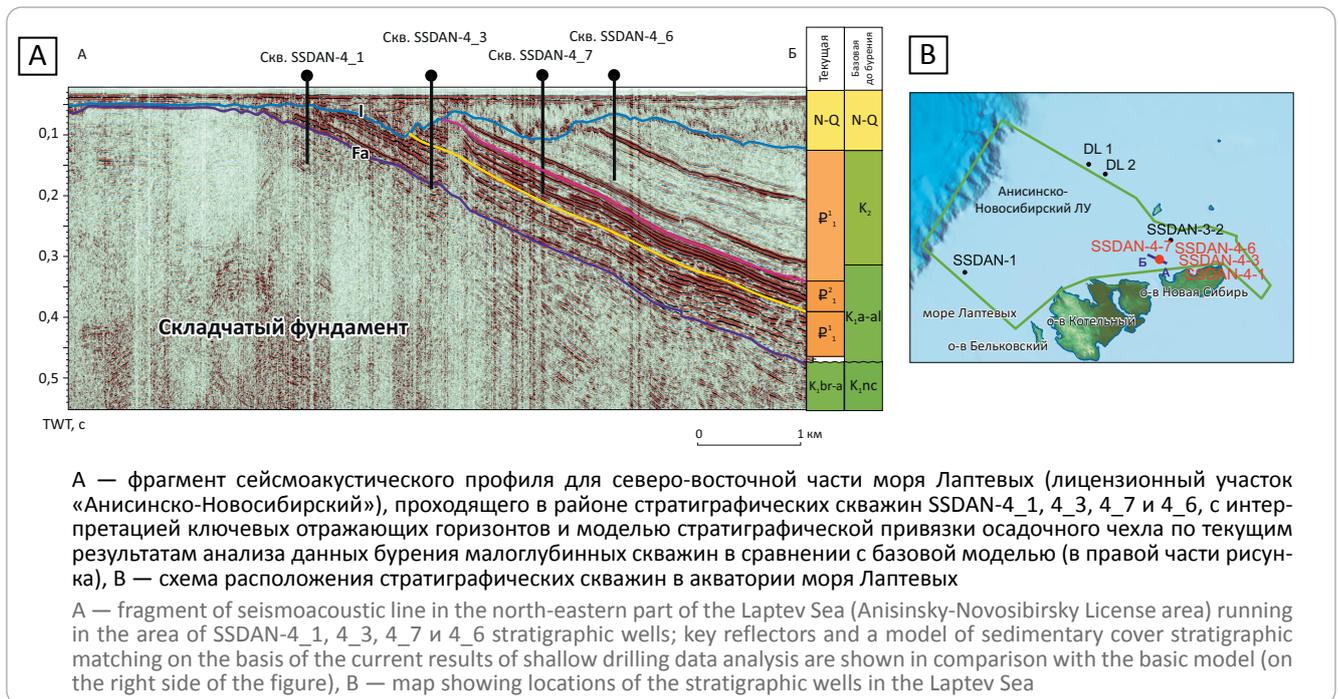
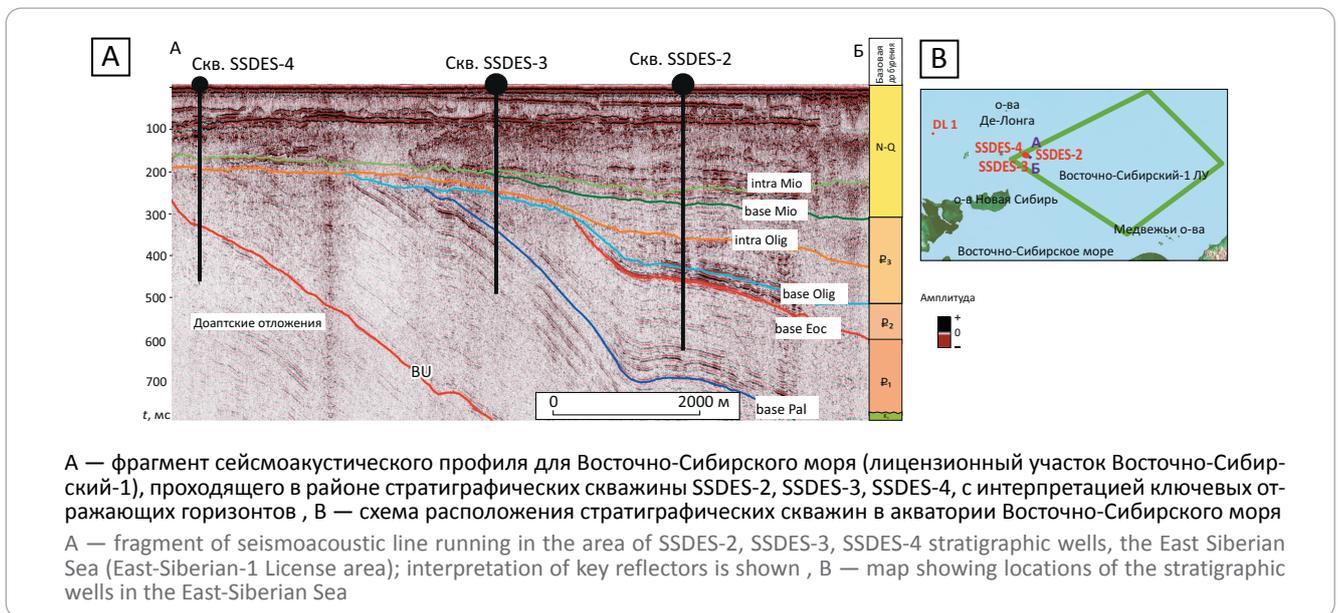


Рис. 7. Предварительные результаты стратиграфического бурения в Восточно-Сибирском море
Fig. 7. Preliminary stratigraphic drilling results in the East-Siberian Sea



тием предположительно коррелируется отдельный этап деформаций сжатия, установленный на о-ве Врангеля в результате детальных геологоструктурных исследований [9].

Все перечисленные и другие научные результаты предполагается более подробно рассмотреть в серии последующих публикаций исследовательского коллектива проекта.

Обсуждение результатов

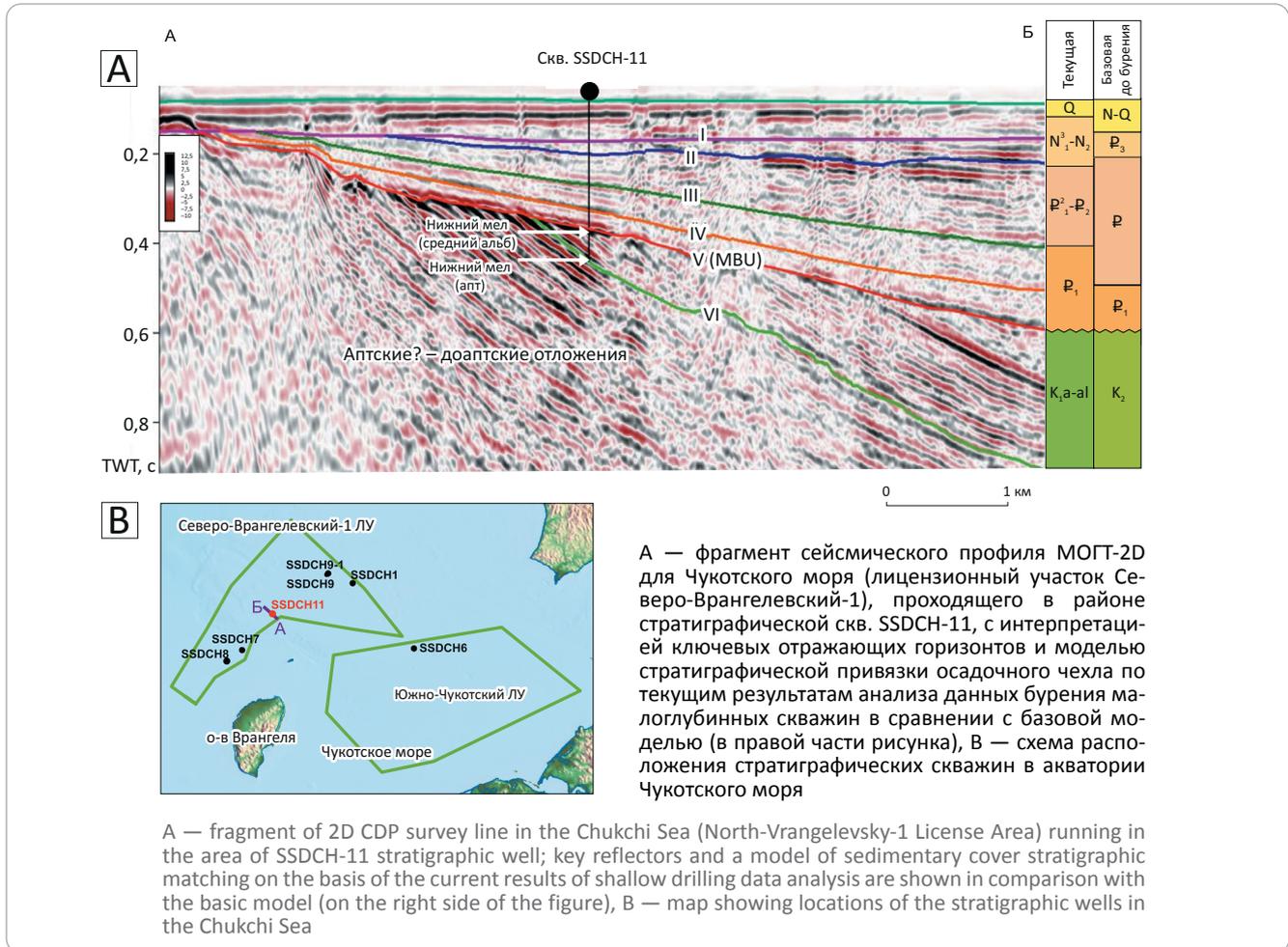
Суммируя вышесказанное, можно утверждать, что начиная с 2020 г. — со времени начала реали-

зации комплексного проекта ПАО «НК «Роснефть» по стратиграфическому бурению в малоизученных осадочных бассейнах северных морей России — произошел настоящий прорыв в изучении геологического строения Арктики. В распоряжении российских специалистов впервые оказались уникальные первичные данные, проливающие свет на геологические строение осадочного чехла, его возраст, историю развития и эволюцию нефтегазовых систем.

Амбициозная задача по получению первых в мире начальных данных по геологии шельфа Вос-



Рис. 8. Предварительные результаты стратиграфического бурения в Чукотском море
Fig. 8. Preliminary stratigraphic drilling results in the Chukchi Sea



точной Арктики и Северо-Карского региона определяла необходимость разработки оригинальной отечественной технологии планирования, подготовки и бурения стратиграфических скважин. Важным условием была адаптация технологии под природно-климатические и сейсмогеологические условия различных районов Арктики, удаленных друг от друга на сотни и тысячи километров. Эта задача была с успехом решена, в том числе с применением инновационных подходов в методиках сопровождения бурения. Речь идет, прежде всего, о сейсмоакустических работах с заглубленной сейсмокозой, что обеспечивает повышенную разрешающую способность и помехозащищенность метода, а также позволяет оптимально выбирать конкретные точки бурения с учетом верхней части разреза. Вторым ключевым элементом технологии является комплекс инновационных методов геофизических исследований скважин с использованием оптоволоконного оборудования, который позволяет, в конечном итоге, осуществлять привязку интервалов отбираемого керна к сейсмоакустическому/сейсмическому разрезу с максимальной точностью (первые метры), а также проводить термометрические исследования вдоль всего ствола скважины с валидным временем выстойки.

Принципиально важной частью реализации проекта является комплексирование данных анализа керна стратиграфических скважин с результатами экспедиционных геологических исследований по прилегающим областям материковой и островной суши (архипелаги Новая и Северная Земля, п-ов Таймыр, север Восточной Сибири, Новосибирские острова, о-в Врангеля, Северная Чукотка и др.). Необходимо отметить, что ПАО «НК «Роснефть» организовала и провела в 2012–2022 гг. 15 таких экспедиций в Арктике, включая работы 2022 г. в рамках данного проекта по изучению нефтегазоматеринских пород и выходов природных битумов на арх. Земля Франца-Иосифа [10].

Интеграция результатов, полученных по аналитическим исследованиям керна материала стратиграфических скважин и образцов предшествующих геологических экспедиций в существующие 3D-модели строения регионов исследований (сейсмогеологическую, литолого-фациальную, эволюции УВ-систем), позволяет получить максимально достоверные модели для обоснованного прогноза нефтегазоносности и повышения эффективности геолого-разведочных работ.

Все полученные в рамках проекта результаты стратиграфического бурения будут использованы для актуализации оценки ресурсов УВ и геологических рисков по первоочередным поисковым объектам, их ранжирования и установления приоритетности, а также для уточненной оценки ресурсной базы лицензионных участков ПАО «НК «Роснефть» в Арктике.

Выводы

Проведенные в 2020–2023 гг. работы по мало-глубинному стратиграфическому бурению на шельфе российской Арктики и продолжающиеся лабораторно-аналитические исследования кернового материала в совокупности с комплексным анализом накопленного массива геолого-геофизических данных позволяют сделать следующие выводы.

1. Начиная с 2020 г. разработаны ключевые технологические аспекты реализации программы стратиграфического бурения для всех морей российской Арктики. Проводимые работы включают комплексирование буровых методов, геофизических исследований скважин и высокочастотных сейсмоакустических съемок на основе отечественных методологических подходов и инновационного оборудования.

2. За время реализации проекта RoSDAr проведены масштабные работы на севере Карского моря, в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском, что позволило впервые получить уникальный материал по геологии российской Арктики. В дальнейшем продолжение подобных работ запланиро-

вано в малоизученных районах морей Западной и Восточной Арктики.

3. Применение технологии стратиграфического бурения показало свою принципиальную важность для оценки перспектив нефтегазоносности крупных осадочных бассейнов российской Арктики, не изученных глубоким бурением. Получаемые данные позволяют снять ключевые геологические неопределенности, касающиеся пород осадочного чехла исследуемых регионов: их возраста, состава, условий осадконакопления, источников сноса обломочного материала, геохимических и геофизических параметров и т. д.

4. Принципиально важной частью реализации проекта является комплексирование результатов анализа керна стратиграфических скважин с данными экспедиционных геологических исследований по прилегающим областям материковой и островной суши, это позволяет получить максимально достоверные 3D-модели региона (сейсмогеологическую, литолого-фациальную, эволюции УВ-систем) для обоснованного прогноза его нефтегазоносности и повышения эффективности геолого-разведочных работ.

Реализуемая программа мало-глубинного стратиграфического бурения является одной из важных вех геологических исследований арктического шельфа. Впервые полученные данные по возрасту и составу осадочного чехла имеют не только уникальное фундаментальное научное, но и первоочередное прикладное значение для дальнейшего освоения российской Арктики.

Литература

1. Малышев Н.А., Вержбицкий В.Е., Скарятин М.В., Балагуров М.Д., Илюшин Д.В., Колюбакин А.А., Губарева О.А., Гатовский Ю.А., Лакеев В.Г., Лукашев Р.В., Ступакова А.В., Сулова А.А., Обметко В.В., Комиссаров Д.К. Стратиграфическое бурение на севере Карского моря: первый опыт реализации проекта и предварительные результаты // Геология и геофизика. – 2023. – Т. 64. – № 3. – С. 311–326. DOI: 10.15372/GiG2022131.
2. Петров О.В., Никишин А.М., Петров Е.И., Татаринцов В.Ю., Кашубин С.Н., Рекант П.В., Прищепенко Д.В., Малышев Н.А., Данилкин С.М., Вержбицкий В.Е., Колюбакин А.А., Комиссаров Д.К., Ставицкая В.Н., Шурекова О.В., Разумкова Е.С., Толмачева Т.Ю., Леонтьев Д.И., Токарев М.Ю., Понимаскин А.И., Замотина З.С. Результаты стратиграфического бурения в Восточно-Сибирском море с целью геологического изучения зоны сочленения окраинных структур континентального шельфа и глубоководных акваторий Северного Ледовитого океана // Доклады РАН. Науки о Земле. – 2023. – Т. 512. – № 2. – С. 100–110. DOI: 10.31857/S268673972360100X.
3. Колюбакин А.А., Малышев Н.А., Вержбицкий В.Е., Токарев М.Ю., Пашали А.А., Комиссаров Д.К., Бородулин А.А., Обметко В.В., Болдырев М.Л., Лакеев В.Г., Лукашев Р.В. Технологические разработки геофизического обеспечения стратиграфического бурения в морях российской Арктики // Нефтяное хозяйство. – 2023. – № 11. – С. 6–11. DOI: 10.24887/0028-2448-2023-11-6-11.
4. Prokopyev A.V., Ershova V.B., Anfinson O., Stockli D., Powell J., Khudoley A.K., Vasiliev D.A., Sobolev N.N., Petrov E.O. Tectonics of the New Siberian Islands Archipelago: Structural styles and low-temperature thermochronology // Journal of Geodynamics. – 2018. – Т. 121. – С. 155–184. DOI: 10.1016/j.jog.2018.09.001.
5. Попова А.Б., Махова О.С., Малышев Н.А., Вержбицкий В.Е., Обметко В.В., Бородулин А.А. Построение комплексной сейсмогеологической модели шельфа Восточно-Сибирского моря // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 30–34. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-4-30-34.
6. Никишин А.М., Петров Е.И., Старцева К.Ф., Родина Е.А., Посаментиер Х., Фоулджер Дж., Глумов И.Ф., Морозов А.Ф., Вержбицкий В.Е., Малышев Н.А., Фрейман С.И., Афанасенков А.П., Безъязыков А.В., Доронина М.С., Никишин В.А., Сколотнев С.Г., Черных А.А. Сейсмостратиграфия, палеогеография и палеотектоника Арктического глубоководного бассейна и его российских шельфов // Труды геологического института. – М.: Наука, 2022. – Вып. 632. – 136 с. DOI: 10.54896/00023272_2022_632_1.
7. Моисеев А.В., Соколов С.Д., Тучкова М.И., Вержбицкий В.Е., Малышев Н.А. Этапы структурных деформаций и трещинное датирование апатита неопротерозой-триасовых комплексов о. Врангеля // Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии. Материалы I Тектонического совещания (Москва, 30 января–3 февраля 2018 г.). – М.: 2018. – Т. 2. – С. 23–27.

8. Ульянов Д.К., Моисеев А.В., Соколов С.Д., Тучкова М.И., Вержбицкий В.Е., Малышев Н.А. Датирование тектонических событий путем восстановления термальной истории на примере острова Врангеля (Восточная Арктика) // Новые идеи в науках о Земле. Материалы XV Международной научно-практической конференции. В 7-ми томах (Москва, 1–2 апреля 2021 г.). – М. – 2021. – С. 88–92.
9. Вержбицкий В.Е., Соколов С.Д., Тучкова М.И. Современная структура и этапы тектонической эволюции острова Врангеля (Российская Восточная Арктика) // Геотектоника. – 2015. – Т. 49. – № 3. – С. 3–36.
10. Богоявленская О.В., Малышев Н.А., Махова О.С., Комиссаров Д.К., Вержбицкий В.Е., Васильева И.С., Бородулин А.А., Колубакин А.А., Ульянов Г.В., Обметко В.В., Болдырев М.Л., Угрюмов А.С., Данилкин С.М., Ершова В.Б., Rogov M.A., Ставицкая В.Н., Шейн В.А., Шманяк А.В., Соболев П.О. Геологические исследования природных битумопроявлений в осадочных и интрузивных породах мезозойского возраста на островах архипелага Земля Франца-Иосифа в рейсе научно-экспедиционного судна «Михаил Сомов» // Арктика. Экология и экономика. – 2023. – Т. 13. – № 3. – С. 328–340. DOI: 10.25283/2223-4594-2023-3-328-340.

References

1. Malyshev N.A., Verzhbitskii V.E., Skaryatin M.V., Balagurov M.D., Ilyushin D.V., Kolyubakin A.A., Gubareva O.A., Gatovskii Yu.A., Lakeev V.G., Lukashov R.V., Stupakova A.V., Suslova A.A., Obmetko V.V., Komissarov D.K. Stratigraphic Drilling in the Northern Kara Sea: First Case and Preliminary Results. *Russian Geology and Geophysics*. 2023;64(3):257–269. DOI: 0.2113/RGG20224459
2. Petrov O.V., Nikishin A.M., Petrov E.I., Tatarinov V.Yu., Kashubin S.N., Rekant P.V., Prishchepenko D.V., Malyshev N.A., Danilkin S.M., Verzhbitskii V.E., Kolyubakin A.A., Komissarov D.K., Stavitskaya V.N., Shurekova O.V., Razumkova E.S., Tolmacheva T.Yu., Leont'ev D.I., Tokarev M.Yu., Ponimaskin A.I., Zamotina Z.S. First Results of Stratigraphic Drilling in the East Siberian Sea Focused on Geological Studies of the Suture Zone of the Continental Shelf's Marginal Structures and Deep-Water Areas of the Arctic Ocean. *Doklady Earth Sciences*. 2023;512(2): 1014–1023. DOI: 10.1134/s1028334x23601256.
3. Kolyubakin A.A., Malyshev N.A., Verzhbitskii V.E., Tokarev M.Yu., Pashali A.A., Komissarov D.K., Borodulin A.A., Obmetko V.V., Boldyrev M.L., Lakeev V.G., Lukashov R.V. Technological solutions for geophysical support of stratigraphic drilling in the seas of the Russian Arctic. *Oil Industry*. 2023;11:6–11. DOI: 10.24887/0028-2448-2023-11-6-11. In Russ.
4. Prokopiev A.V., Ershova V.B., Anfinsen O., Stockli D., Powell J., Khudoley A.K., Vasiliev D.A., Sobolev N.N., Petrov E.O. Tectonics of the New Siberian Islands Archipelago: Structural styles and low-temperature thermochronology // *Journal of Geodynamics*. 2018;121:155–184. DOI: 10.1016/j.jog.2018.09.001.
5. Popova A.B., Makhova O.S., Malyshev N.A., Verzhbitskii V.E., Obmetko V.V., Borodulin A.A. Construction of an integrated seismic-geological model of the East Siberian Sea shelf. *Oil Industry*. 2018;4:30–35. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-4-30-34. In Russ.
6. Nikishin A.M., Petrov E.I., Startseva K.F., Rodina E.A., Posamentier Kh., Fouldzher Dzh., Glumov I.F., Morozov A.F., Verzhbitskii V.E., Malyshev N.A., Freiman S.I., Afanasenkov A.P., Bez'yazykov A.V., Doronina M.S., Nikishin V.A., Skolotnev S.G., Chernykh A.A. Seismostratigraphy, paleogeography and paleotectonics of the Arctic deep-water basin and its Russian shelf. In: *Trudy Geologicheskogo instituta*. Issue 632. Moscow: GEOS; 2022. 136 p. DOI: 10.54896/00023272_2022_632_1. In Russ.
7. Moiseev A.V., Sokolov S.D., Tuchkova M.I., Verzhbitskii V.E., Malyshev N.A. Etapy strukturnykh deformatsii i trekovoe datirovanie apatita neoproterozoi-triasovykh kompleksov o. Vrangelya [Neoproterozoic-Triassic sequences of Wrangel Island: stages of structural deformations and Apatite Fission Track]. In: *Problemy tektoniki i geodinamiki zemnoi kory i mantii*. mat-ly L Tektonicheskogo soveshchaniya (Moscow, 30 January–3 February 2018). Moscow;2018;2:23–27. In Russ.
8. Ul'yanov D.K., Moiseev A.V., Sokolov S.D., Tuchkova M.I., Verzhbitskii V.E., Malyshev N.A. Datirovanie tektonicheskikh sobyitii putem vosstanovleniya termal'noi istorii na primere ostrova Vrangelya (Vostochnaya Arktika) [Dating tectonic events by reconstructing thermal history: the example of Wrangel Island (Eastern Arctic)]. In: *Novye idei v nauках o Zemle. Materialy XV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konf-sii*. V 7-mi tomakh (Moskva, 1–2 april 2021). Moscow;2021:88–92. In Russ.
9. Verzhbitsky V.E., Sokolov S.D., Tuchkova M.I. Present-day structure and stages of tectonic evolution of Wrangel Island, Russian eastern Arctic Region. *Geotectonics*. 2015;49(3):165–192. DOI: 10.1134/S001685211503005X.
10. Bogoyavlenskaya O.V., Malyshev N.A., Makhova O.S., Komissarov D.K., Verzhbitsky V.E., Vasileva I.S., Borodulin A.A., Kolubakin A.A., Ulyanov G.V., Obmetko V.V., Boldyrev M.L., Ugryumov A.S., Danilkin S.M., Ershova V.B., Rogov M.A., Stavitskaya V.N., Shein V.A., Shmanyak A.V., Sobolev P.O. Geological studies of natural bitumen occurrences in sedimentary and intrusive rocks of the Mesozoic age on the Franz Joseph Land archipelago during the research expedition in 2022. *Arctic: Ecology and Economy*.2023;13(3):328–340. DOI: 10.25283/2223-4594-2023-3-328-340. In Russ.

Информация об авторах

Малышев Николай Александрович

Доктор геолого-минералогических наук,
заместитель директора

ПАО «НК «Роснефть»

115054 Москва, ул. Дубининская, д. 31а

e-mail: n_malyshev@rosneft.ru

Scopus: 24450420600

AuthorID: 65738

Information about authors

Nikolai A. Malyshev

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Director
Department of Geological Exploration

Rosneft Oil Company,

31A, Dubininskaya street, Moscow, 115054, Russia

e-mail: n_malyshev@rosneft.ru

Scopus: 24450420600

AuthorID: 65738

Вержбицкий Владимир Евгеньевич

Кандидат геолого-минералогических наук,
начальник управления
ПАО «НК «Роснефть»
115054 Москва, ул. Дубининская, д. 31а
e-mail: v_verzhbitskiy@rosneft.ru
Scopus: 56094877800
AuthorID: 70328

Колюбакин Андрей Анатольевич

Менеджер по совместным проектам
ООО «РН-Эксплорейшн»
119049 Москва, ул. Шаболовка, д. 10 корп. 2
e-mail: a_kolubakin@rn-exp.rosneft.ru
AuthorID: 1234451

Комиссаров Дмитрий Константинович

Главный специалист
ПАО «НК «Роснефть»
115054 Москва, ул. Дубининская, д. 31а
e-mail: dk_komissarov@rosneft.ru
AuthorID: 1237744

Бородулин Алексей Александрович

Главный специалист
ПАО «НК «Роснефть»
115054 Москва, ул. Дубининская, д. 31а
e-mail: a_borodulin@rosneft.ru

Обметко Виктор Валерьевич

Кандидат геолого-минералогических наук,
заместитель директора
ПАО «НК «Роснефть»
115054 Москва, ул. Дубининская, д. 31а
e-mail: v_obmetko@rosneft.ru

Попова Александра Борисовна

Эксперт направления
ООО «Арктический научно-проектный центр
шельфовых разработок»
119333 Москва, Ленинский пр-кт, д. 55/1, стр. 2
e-mail: AB_Popova2@arc.rosneft.ru

Данилкин Сергей Михайлович

Кандидат геолого-минералогических наук,
эксперт направления
ООО «Арктический научно-проектный центр
шельфовых разработок»
119333 Москва, Ленинский пр-кт, д. 55/1, стр. 2
e-mail: sm_danilkin@arc.rosneft.ru

Васильева Инесса Сергеевна

Главный специалист
ООО «Арктический научно-проектный центр
шельфовых разработок»
119333 Москва, Ленинский пр-кт, д. 55/1, стр. 2
e-mail: IS_Vasileva@arc.rosneft.ru

Vladimir E. Verzhbitskii

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Head of Administration, Department of Geological Exploration
Rosneft Oil Company,
31A, Dubininskaya street, Moscow, 115054, Russia
e-mail: v_verzhbitskiy@rosneft.ru
Scopus: 56094877800
AuthorID: 70328

Andrei A. Kolyubakin

Joint Venture Project Manager
RN-Exploration,
10, building 2, Shabolovka street, Moscow, 119049, Russia
e-mail: a_kolubakin@rn-exp.rosneft.ru
AuthorID: 1234451

Dmitrii K. Komissarov

Chief Specialist
Rosneft Oil Company,
31A, Dubininskaya street, Moscow, 115054, Russia
e-mail: dk_komissarov@rosneft.ru
AuthorID: 1237744

Aleksei A. Borodulin

Chief Specialist
Rosneft Oil Company,
31A, Dubininskaya street, Moscow, 115054, Russia
e-mail: a_borodulin@rosneft.ru

Viktor V. Obmetko

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Deputy Director
Rosneft Oil Company,
31A, Dubininskaya street, Moscow, 115054, Russia
e-mail: v_obmetko@rosneft.ru

Aleksandra B. Popova

Business Line Expert
Arctic Research
Centre,
55/1 bld. 2, Leninsky prospect Moscow, 119333, Russia
e-mail: AB_Popova2@arc.rosneft.ru

Sergei M. Danilkin

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Business Line Expert
Arctic Research
Centre,
55/1 bld. 2, Leninsky prospect Moscow, 119333, Russia
e-mail: sm_danilkin@arc.rosneft.ru

Inessa S. Vasil'eva

Chief Specialist
Arctic Research
Centre,
55/1 bld. 2, Leninsky prospect Moscow, 119333, Russia
e-mail: IS_Vasileva@arc.rosneft.ru

Тимошенко Татьяна Александровна

Главный специалист

ООО «Арктический научно-проектный центр
шельфовых разработок»

119333 Москва, Ленинский пр-кт, д. 55/1, стр. 2

e-mail: TA_Timoshenko@arc.rosneft.ru

Александрова Галина НиколаевнаКандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник

Геологический институт РАН

119017 Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 1

e-mail: secretary_gin@ginras.ru

AuthorID: 69156

Гатовский Юрий АртуровичКандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудникМосковский государственный университет
имени М. В. Ломоносова

119234 Москва, ул. Ленинские горы, д. 1

e-mail: ustay62@bk.ru

AuthorID: 295815

Суслова Анна АнатольевнаКандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудникМосковский государственный университет
имени М. В. Ломоносова,

119234 Москва, ул. Ленинские горы, д. 1

e-mail: a.suslova@oilmsu.ru

AuthorID: 652822

Никишин Анатолий МихайловичДоктор геолого-минералогических наук,
профессор, эксперт

ООО «РН-Эксплорейшн»

119049 Москва, ул. Шаболовка, д. 10 корп. 2

e-mail: amnikishin@gmail.com

AuthorID: 60228

Tat'yana A. Timoshenko

Chief Specialist

Arctic Research
Centre,

55/1 bld. 2, Leninsky prospect Moscow, 119333, Russia

e-mail: TA_Timoshenko@arc.rosneft.ru

Galina N. AleksandrovaCandidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Leading Researcher

Geological Institute of the Russian Academy of Sciences

7 bld. 1 Pyzhevsky per. Moscow, Russia

e-mail: secretary_gin@ginras.ru

AuthorID: 69156

Yurii A. GatovskiiCandidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Senior Researcher

Lomonosov

Moscow State University,

1, Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russia

e-mail: ustay62@bk.ru

AuthorID: 295815

Anna A. SuslovaCandidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Leading researcher

Lomonosov

Moscow State University,

1, Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russia

e-mail: a.suslova@oilmsu.ru

AuthorID: 652822

Anatolii M. NikishinDoctor of Geological and Mineralogical Sciences,
Professor, Expert

RN-Exploration,

10, building 2, Shabolovka street, Moscow, 119049, Russia

e-mail: amnikishin@gmail.com

AuthorID: 60228