

УДК 550.822(268.53)

СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ БУРЕНИЕ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ:
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ПРОЕКТА

Н.А. Малышев¹, В.Е. Вержбицкий¹, С.М. Данилкин², А.А. Колюбакин³, В.Б. Ершова^{2,4,5},
А.А. Бородулин¹, В.В. Обметко¹, Д.К. Комиссаров¹, М.Л. Болдырев², И.С. Васильева²,
М.А. Рогов^{2,3}, А.Б. Попова², О.С. Махова², В.Н. Ставицкая², Т.А. Тимошенко²,
А.Н. Алымов², В.А. Шейн^{2,✉}, А.С. Угрюмов², В.Е. Васильев⁶, Ю.А. Гатовский⁷, В.Г. Лакеев⁸,
Р.В. Лукашев⁸, Г.Н. Александрова⁴, А.В. Лидская⁴, А.Н. Симакова⁴, Д.А. Лопатина⁴,
С.И. Бордунов^{4,7}, А.А. Суслова^{7,8}, А.В. Ступакова^{7,8}, А.М. Никишин⁷

¹ПАО «НК «Роснефть», 115054, Москва, ул. Дубининская, 31а, Россия²ООО «Арктический научный центр», 119333, Москва, Ленинский просп., 55/1, стр. 2, Россия³ООО «РН-Эксплорейшн», 119049, Москва, ул. Шаболовка, 10, корп. 2, Россия⁴Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 1, Россия⁵Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле,
199155, Санкт-Петербург, пер. Декабристов, 16, Россия⁶АО «Институт геологии и разработки горючих ископаемых», 117312, Москва, ул. Вавилова, 25, корп. 1, Россия⁷Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119234, Москва, ул. Ленинские горы, 1, Россия⁸Фонд «НИР», 119192, Москва, Ломоносовский просп., 27, корп. 1, Россия

Поступила в редакцию: 06.03.2024

Принята в печать: 05.09.2024

Опубликована онлайн: 08.09.2024

DOI: [10.15372/GiG2024153](https://doi.org/10.15372/GiG2024153)EDN: [JRIZGV](https://www.edn.ru/JRIZGV)

Ссылка для цитирования:

Малышев Н.А., Вержбицкий В.Е., Данилкин С.М.,
Колюбакин А.А., Ершова В.Б., Бородулин А.А.,
Обметко В.В., Комиссаров Д.К., Болдырев М.Л.,
Васильева И.С., Рогов М.А., Попова А.Б., Махова О.С.,
Ставицкая В.Н., Тимошенко Т.А., Алымов А.Н., Шейн
В.А., Угрюмов А.С., Васильев В.Е., Гатовский Ю.А.,
Лакеев В.Г., Лукашев Р.В., Александрова Г.Н.,
Лидская А.В., Симакова А.Н., Лопатина Д.А., Бордунов
С.И., Суслова А.А., Ступакова А.В., Никишин А.М.
(2025). Стратиграфическое бурение на северо-востоке
моря Лаптевых: основные результаты и дальнейшее
развитие проекта // Геология и геофизика, т. 66, № 2,
с. 160–179, DOI: [10.15372/GiG2024153](https://doi.org/10.15372/GiG2024153), EDN: [JRIZGV](https://www.edn.ru/JRIZGV).

© Н.А. Малышев, В.Е. Вержбицкий, С.М. Данилкин,
А.А. Колюбакин, В.Б. Ершова, А.А. Бородулин,
В.В. Обметко, Д.К. Комиссаров, М.Л. Болдырев,
И.С. Васильева, М.А. Рогов, А.Б. Попова, О.С. Махова,
В.Н. Ставицкая, Т.А. Тимошенко, А.Н. Алымов,
В.А. Шейн, А.С. Угрюмов, В.Е. Васильев, Ю.А. Гатовский,
В.Г. Лакеев, Р.В. Лукашев, Г.Н. Александрова, А.В. Лидская,
А.Н. Симакова, Д.А. Лопатина, С.И. Бордунов,
А.А. Суслова, А.В. Ступакова, А.М. Никишин

✉ E-mail: vashein@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Восточная Арктика является одним из самых слабоизученных регионов мира в силу ее труднодоступности, сложных климатических и ледовых условий. Отсутствие до последнего времени скважин, пробу-

Для российского сектора Восточной Арктики характерно развитие крупных бассейнов с мощным осадочным выполнением, прежде всего, на шельфе и континентальном склоне морей Северного Ледовитого океана. Ряд геолого-геофизических и геохимических признаков указывает на их потенциальную нефтегазоносность. При этом возраст и состав осадочных комплексов шельфовых бассейнов до сих пор являлся дискуссионным из-за отсутствия скважин, пробуренных в акватории. В 2021 г. в ходе реализации проекта ПАО «НК «Роснефть» по стратиграфическому бурению на шельфах морей Российской Арктики (RoSDAr – Rosneft Stratigraphic Drilling in Arctic) были пробурены шесть стратиграфических скважин с отбором керна на востоке моря Лаптевых (Анисинско-Новосибирский лицензионный участок ПАО «НК «Роснефть» глубиной от 100.0 до 199.5 м. Результаты комплексных биостратиграфических исследований керна показали, что наиболее древними в изученных разрезах скважин являются деформированные верхнебарремские–нижнеаптские, преимущественно алевро-глинистые, толщи (комплекс складчатого основания), на которых с угловым несогласием залегают палеоценовые песчано-алевро-глинистые отложения. Скважины вскрыли также эоценовые, олигоценые и миоцен-четвертичные терригенные породы. Комплексный анализ данных стратиграфического бурения и сейсморазведки позволил уточнить геологические модели региона и создал основу для обновления наших представлений о его нефтегазовом потенциале. Полученные на сегодняшний день материалы позволяют сделать вывод о более значительной роли кайнозойских отложений в осадочном чехле моря Лаптевых, чем это предполагалось ранее.

Керн, нефтегазоносность, биостратиграфия, сейсмостратиграфия, рифтогенные бассейны, арктический шельф

ренных в акватории, вызывает многочисленные дискуссии о геологическом строении и истории развития осадочных бассейнов (ОБ) морей Восточной Арктики.

На протяжении последних десятилетий сложились две принципиально различные концепции геологического строения и возрастного диапазона оса-

дочного чехла моря Лаптевых. Согласно первой, древняя Сибирская платформа продолжается в западной и центральной частях шельфа и, соответственно, возрастной диапазон чехла должен включать здесь отложения от рифея до кайнозоя (концепция «древнего чехла»). Согласно второй, практически на всей акватории, кроме Хатангского залива, развито позднемезозойское складчатое основание и, следовательно, возраст подошвы осадочного чехла должен быть не древнее апта (концепция «молодого чехла»). В пределах рассматриваемой восточной (северо-восточной) части шельфа развито позднемезозойское складчатое основание Новосибирско-Чукотской складчатой системы, перекрытое молодыми апт-кайнозойскими отложениями. Тем не менее и для этой части акватории имеются существенно различные взгляды на стратиграфический диапазон развитаго здесь чехла.

Начиная с 2020 г., благодаря реализации программы ПАО «НК «Роснефть» по стратиграфическому бурению в морях Российской Арктики (RoSDAr – Rosneft Stratigraphic Drilling in Arctic), в части решения данной проблемы произошли кардинальные изменения. В сезоне 2020 г. впервые в РФ были проведены работы в пределах Северо-Карского ОБ, где было пробурено десять скважин глубиной от 40 до 90 м и датированы отложения в возрастном диапазоне от кембрия до юры–раннего мела [Малышев и др., 2023]. В 2021 г. работы были продолжены в акватории моря Лаптевых, в 2022 г. – в Чукотском море, в 2023 г. – в Восточно-Сибирском и Чукотском морях. 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 в северо-западной части Восточно-Сибирского моря в районе подводного поднятия Де-Лонга в рамках программы по обоснованию внешней границы континентального шельфа РФ [Петров и др., 2023].

Данная статья посвящена ключевым результатам бурения, проведенного в 2021 г. в северо-восточной части моря Лаптевых в рамках программы ПАО «НК «Роснефть».

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ РЕГИОНА

Шельф моря Лаптевых привлекает внимание исследователей в связи с рядом фундаментальных и прикладных аспектов его геологического строения. Об уникальной тектонической позиции этого региона уже неоднократно упоминалось в работах предшественников. На лаптевоморском шельфе происходит сочленение разновозрастных и разнородных тектонических элементов – древней Сибирской платформы и трех складчатых систем – позднепалеозой-

ско-мезозойской Таймырской, а также позднемезозойских Верхояно-Колымской и Новосибирско-Чукотской. Здесь выделяется крупнейшая рифтовая система, занимающая практически всю площадь акватории, за исключением области Хатангского залива. Большинство исследователей предполагается, что рифтовая система формировалась на протяжении всего кайнозойского (возможно, мел-кайнозойского?) времени и связана со спредингом в Евразийском бассейне, трансформировавшимся в растяжение прилегающей континентальной литосферы лаптевоморского шельфа. При этом современная геодинамика региона также контролируется взаимодействием ультрамедленного спредингового хр. Гаккеля с континентальной окраиной Евразии [Gaina et al., 2015]. На шельфе моря Лаптевых это выражается в виде полосы рассеянной современной сейсмичности шириной до 600 км. Здесь различными авторами выделяются одна или несколько границ литосферных плит и микроплит. Исходя из вышеперечисленного, многими исследователями делается вывод, что ОБ моря Лаптевых сформирован в результате завершения позднемезозойской складчатости и последующего рифтогенеза [Drachev et al., 1998, 2010; Franke et al., 2000, 2001; Аветисов, 2002; Grachev, 2003; Franke, Hinz, 2009; Верниковский и др., 2013; Заварзина и др., 2014; Mazur et al., 2015; Имаева и др., 2016, 2019; Drachev, Shkarubo, 2017; Nikishin et al., 2017, 2021; Пискарев и др., 2018; Крылов и др., 2022; Соколов и др., 2022].

Представления о существенном нефтегазовом потенциале осадочного чехла моря Лаптевых основываются на ряде известных геологических факторов. Прежде всего, это наличие выявленной по данным морской сейсморазведки серии крупных ОБ рифтовой природы, разделенных горстами [Грамберг и др., 1990]. Рифты простираются в северо-западном направлении от материкового побережья к Евразийскому бассейну. При этом мощность осадочного чехла составляет в среднем 5–6 км, в отдельных депоцентрах грабенов превышает 10–12 км. На основании интерпретации материалов сейсморазведки МОГТ 2D были закартированы многочисленные потенциальные ловушки углеводородов (УВ). Последние в большинстве своем связаны именно с рифтовыми структурами (в ряде случаев инверсионными) и преимущественно относятся к тектонически ограниченным или комбинированным типам. Также неоднократно отмечалось наличие на сейсмических данных 2D в осадочном чехле аномалий, связанных, вероятно, с УВ-насыщением [Шельфовые..., 2020]. Кроме того, необходимо отметить наличие нефте- и битумопроявлений на прилегающей материковой и островной сушах в широком стратиграфическом диапазоне разреза – от верхнего протерозоя до юры [Иванов, 1979; Косьюк и др., 1985; Каширцев и др., 2010; Сафронов, 2013; Фролов и др., 2017; Евдокимова, Харитонова,

2018; Зуева и др., 2019; Конторович и др., 2019; Khudoley et al., 2021], а также газопроявлений в юрско-кайнозойских отложениях в картировочных скважинах на арх. Новосибирские острова и прилегающем шельфе [Яшин, Ким, 2007; Евдокимова и др., 2008].

В западной части Лаптевоморского региона, в районе Хатангского залива, достаточно давно был открыт ряд небольших месторождений и нефтепроявлений (Южно-Тигянское, Нордвикское и др.). В 2017 г. силами ПАО «НК «Роснефть» в этой части региона была пробурена с берега п-ова Хара-Тумус поисковая скважина, в результате чего было открыто Центральное-Ольгинское нефтяное месторождение – первое на шельфе российской Восточной Арктики. Основные залежи УВ в этой области приурочены к отложениям перми и триаса, соответствующим основным резервуарам Анабаро-Хатангской седловины, расположенной восточнее Енисей-Хатангского регионального прогиба. Осадочные комплексы этого возраста, развитые в районе Хатангского залива, отвечают в центральной и восточной частях акватории дорифтовому комплексу (складчатому основанию) и не могут напрямую свидетельствовать о нефтегазонасности всего чехла моря Лаптевых.

Важным диагностическим критерием функционирования современных нефтегазовых систем в осадочном чехле шельфа моря Лаптевых могут являться обнаруженные на дне и в водной толще газовые сипы – подводные выбросы метана [Юсупов и др., 2010; Сергиенко и др., 2012; Лобковский и др., 2015; Баранов и др., 2019; Рубан и др., 2021; Ruban et al., 2022], а также результаты газово-геохимических исследований донных осадков, свидетельствующие о термогенной природе мигрирующих углеводородных газов [Яшин, Ким, 2007; Богоявленский, Богоявленский, 2021]. Таким образом, совокупность геологических, геофизических и геохимических данных свидетельствуют о существенном нефтегазовом потенциале шельфа моря Лаптевых.

Большое значение как для решения фундаментальных научных вопросов о геологическом строении и эволюции Лаптевоморского региона, так и для обоснованного прогноза перспектив его нефтегазонасности имеет определение возрастного диапазона и литологического состава пород его осадочного чехла. Представления о последних при отсутствии прямых данных бурения до сих пор оставались дискуссионными и составляли ключевую геологическую неопределенность для шельфа моря Лаптевых.

Основой для суждения о возрасте осадочного выполнения моря Лаптевых до последнего времени являлись в первую очередь сведения о геологическом строении арх. Новосибирские острова и прилегающей континентальной суши, включая Таймыр, север Восточной Сибири и Верхоянье. До проведения стратиграфического бурения все модели возрастного рас-

членения осадочного чехла шельфа базировались именно на комплексировании результатов интерпретации морских сейсморазведочных данных 2D и геологических материалов по материковому и островному обрамлениям акватории.

Расположенный на шельфе моря Лаптевых арх. Новосибирские острова представляет собой западную часть позднемезозойской Новосибирско-Чукотской складчато-надвиговой системы, где присутствуют интенсивно деформированные отложения ордовика–низов нижнего мела, перекрытые с угловым несогласием слабодислоцированными отложениями верхов нижнего мела (апт-альб), а местами – поздне-мелового (сеноман–коньяк) и кайнозойского возрастов [Труфанов, Вакуленко, 1978; Труфанов и др., 1979; Коско и др., 1985; Кузьмичев и др., 2018; Prokopiev et al., 2018].

На архипелаге Новосибирские острова наиболее древние породы выходят на дневную поверхность на о. Котельный и представлены преимущественно карбонатными отложениями ордовика–нижнего–среднего девона, перекрытые с угловым несогласием карбонатно-терригенными и терригенными толщами среднего–верхнего девона–юры [Тектоника..., 2001; Prokopiev et al., 2018]. На о. Бельковском, расположенном к западу от о. Котельный, обнажаются деформированные отложения девона–перми [Коско и др., 1985].

На интенсивно деформированных палеозойских карбонатно-терригенных и триасово-юрских терригенных отложениях о. Котельный [Коско и др., 1985; Kos'ko, Korago, 2009; Prokopiev et al., 2018] залегают апта-альбские континентальные терригенно-вулканогенные толщи. Эти нижнемеловые отложения заполняют небольшие впадины (пологие брахисинклинали) в центральной части о. Котельный, а также вскрыты картировочными скважинами на юге о. Новая Сибирь и на Земле Бунге. Наиболее детально эти отложения изучены в центральной части о. Котельный. Здесь обнажается относительно слабодеформированная толща (углы падения слоев варьируют от 2° до 60° [Кузьмичев и др., 2009б]) переслаивания песчаников, аргиллитов, алевролитов и углей с прослоями игнимбриков и пепловых туфов, липаритов, линзами и пластами туффитов мощностью до 1000 м, относящаяся к балыктахской свите [Труфанов и др., 1986; Кузьмичев и др., 2009б; Никитенко и др., 2017]. Проведенное датирование К-Аг методом игнимбриковых стекол из верхних частей разреза нижнемеловых отложений о. Котельный выявило раннеальбский возраст – 110–107 ± 2.5 млн лет [Кузьмичев и др., 2009б].

Залегающая выше бунгинская свита (сеноман–турон) часто отделена от подстилающих юрских или нижнемеловых отложений корой выветривания мощностью 5–11 м [Труфанов и др., 1986]. В одной из картировочных скважин на о. Фаддеевском было установлено, что свита залегает на коре выветрива-

ния, развитой по нижнемеловым, предположительно, альбским липаритам [Труфанов и др., 1986].

Данная свита, распространенная в северной и южной частях Земли Бунге, а также в центральной части о. Фаддеевский, в заливе Геденштрема и на о. Новая Сибирь, сложена преимущественно алевритами и аргиллитоподобными глинами, среди которых присутствуют отдельные прослои и пачки слоистых песков, гравийно-галечного материала, туфогенных песчаников и бурых углей. Результаты палинологического и палеофлористического анализов позволяют уточнить возраст свиты как сеноман–низы турона [Никитенко и др., 2017]. Мощность свиты достигает 150–400 м [Труфанов и др., 1986; Бургуто и др., 2016].

Наиболее молодые отложения мела, известные на арх. Новосибирские острова (на о. Новая Сибирь) относятся к деревянногорской свите [Труфанов, Вакуленко, 1978; Труфанов и др., 1979] турон-коньякского возраста. Свита, мощность которой достигает 100–110 м, сложена переслаивающимися алевритами, глинами, туфогенными песками и песчаниками, туффитами, а также бурыми углями. Анализ спорово-пыльцевых и макрофлористических комплексов из отложений свиты свидетельствует, по мнению многих исследователей, о ее туронском возрасте [Труфанов и др., 1979; Никитенко и др., 2017, 2018]. Согласно последним результатам U–Pb датирования зерен обломочных цирконов из вулканогенно-терригенных отложений свиты (средневзвешенный возраст самой молодой популяции зерен составил 88 ± 0.9 млн лет), ее нижний возрастной предел соответствует низам коньякского века [Костылева и др., 2022].

Кайнозойские (дочетвертичные) отложения с угловым и стратиграфическим несогласием залегают на разновозрастных палеозойско-мезозойских отложениях, нередко с корой выветривания в основании, мощность которой достигает 0.5–25.0 м [Бургуто и др., 2016]. К наиболее древним кайнозойским отложениям на арх. Новосибирские острова относится толща, представленная глинами, бурыми углями, песками и галечниками мощностью до 90 м, охарактеризованная зеландско-нижнеипрскими палинологическими комплексами [Гриненко и др., 1998]. Они перекрываются ниже- и среднеэоценовой анжуйской свитой мощностью до 70–100 м, сложенной глинами и песками, содержащими пласты и линзы бурых углей, а также редкие маломощные прослои и линзы галечников. В основном она представлена неморскими отложениями, но на о. Новая Сибирь в свите известны остатки раковин моллюсков, а в лагуне Нерпалах на о. Котельный – диноцист родов *Wetzelia* и *Deflandrea* [Александрова, Кузмичев, 2011].

Свитное расчленение более высоких интервалов разреза спорное. Возраст нерпичинской свиты и канарчакской толщи морского и прибрежно-морского генезиса, которые первоначально были выделены в олигоцен-четвертичном интервале [Труфанов и др.,

1979], позднее был пересмотрен и сейчас считается неоплейстоценовым [Басилян, Никольский, 2007]. Как отмечали А.Б. Кузмичев с соавторами [2013, с. 105], «в нерпичинскую свиту включались различные по возрасту, но сходные по литологическому составу отложения».

Эоцен-олигоценные отложения отмечены на западе о. Котельный, где они распространены в серии небольших грабенообразных впадин. На северо-западе острова в районе р. Решетникова обнажаются нижнеэоценовые терригенные угленосные отложения с видимой мощностью несколько метров [Ershova et al., 2022]. Вдоль западного побережья острова в небольших грабенообразных впадинах вскрывается терригенный разрез олигоценных отложений [Ershova et al., 2022].

Верхнеэоценовые–нижнемиоценовые отложения о. Бельковский представлены глинами с прослоями песков, галькой, отдельными горизонтами туфов, алевритов и торфа [Кузмичев и др., 2013]. Важной чертой строения верхнеэоцен-нижнемиоценовых отложений о. Бельковский является широкое развитие пост- и конседиментационных сбросов субмеридионального и северо-западного простирания [Кузмичев и др., 2013]. Таким образом, распространение и строение кайнозойских комплексов, развитых на островах Бельковский и Котельный, во многом контролируются сбросовой тектоникой, что характерно, как будет показано ниже, и для чехла расположенной севернее области стратиграфического бурения 2021 г.

Наличие на арх. Новосибирские острова двух осадочных комплексов с угловыми несогласиями в основании – апта-альбского и кайнозойского – привело к существованию разных моделей возможного стратиграфического выполнения как для рассматриваемой восточной части Лаптевоморского бассейна, так и для центральной, не охарактеризованной бурением. Первая группа моделей основывается на известном факте развития постскладчатых апта-альбских вулканогенно-терригенных пород в центральной части о. Котельный и предполагает, что рифтовые впадины моря Лаптевых начали формироваться, соответственно, в апта-альбское время [Kos'ko, Trufanov, 2002; Шкарубо, Заварзина, 2011; Шкарубо и др., 2014; Nikishin et al., 2014, 2017, 2021; Виноградов и др., 2016; Никишин и др., 2020, 2022].

Во второй группе моделей сопоставляется время заложения лаптевоморских грабенов с известными кайнозойскими грабенообразными впадинами на прилегающей суше. Так, последние, выполненные кайнозойскими отложениями, описаны на островах Котельный и Бельковский [Кузмичев и др., 2013; Ershova et al., 2022]. На континентальном обрамлении моря Лаптевых известна серия наложенных грабенообразных впадин, заполненных палеоэоценовыми и эоценовыми отложениями [Гриненко и др., 1989]. Согласно этой группе моделей, формирование рифто-

вых прогибов Лаптевоморского осадочного бассейна началось в позднем мелу (маастрихте ?)—палеоцене [Drachev, Shkarubo, 2017; Drachev et al., 1998, 2010; Franke et al., 2000, 2001; Franke, Hinz, 2009]. А.Б. Кузьмичев с соавторами [2013] и В.Б. Ершова с соавторами [2022] предполагали, что в прилегающей к островам Бельковский и Котельный акватории моря Лаптевых заполнение рифтовых впадин имеет эоценовый и олигоценовый возраст.

Для стратификации чехла дополнительно привлекались данные бурения в приполюсной части хр. Ломоносова в рамках ACEX (Arctic Coring Expedition – Арктическая буровая экспедиция) 2004 г. [Backman et al., 2008]. По результатам проведенных работ был составлен сводный разрез вскрытой части осадочного чехла в точке бурения (мощностью 428 м), представленный чередованием илов и глин различного состава и генезиса с редкими прослоями и линзами песка. Возрастной диапазон отобранных отложений был установлен в интервале от позднего мела до голоцена [Backman et al., 2008; Poirier, Hillaire-Marcel, 2011; Черных, Крылов, 2017].

Необходимо отметить, что однозначно передать возрастную корреляцию сейсмических горизонтов по

имеющейся сети профилей от скважины ACEX в пределах Лаптевоморского ОБ не представляется возможным ввиду достаточно большого удаления скважины от изучаемого участка, резких изменений мощностей осадочного чехла и разломной тектоники.

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКСПЕДИЦИОННЫХ РАБОТ

С целью снятия ключевых геологических неопределенностей строения шельфа моря Лаптевых, касающихся в первую очередь возраста и состава осадочных комплексов, а также элементов углеводородных систем, в 2021 г. в рамках проекта ПАО «НК «Роснефть» с бурового судна «Бавенит» (АО «Росгеология») было проведено малоглубинное стратиграфическое бурение. Все скважины были заложены в пределах Анисинско-Новосибирского лицензионного участка (ЛУ) ПАО «НК «Роснефть», расположенного севернее арх. Новосибирские острова (рис. 1). Всего было пробурено шесть скважин, вскрывших от 100.0 до 199.5 м осадочного разреза, и получено 415 м керна, характеризующего различные стратиграфические уровни чехла (рис. 2, 3). Кроме того, в процессе

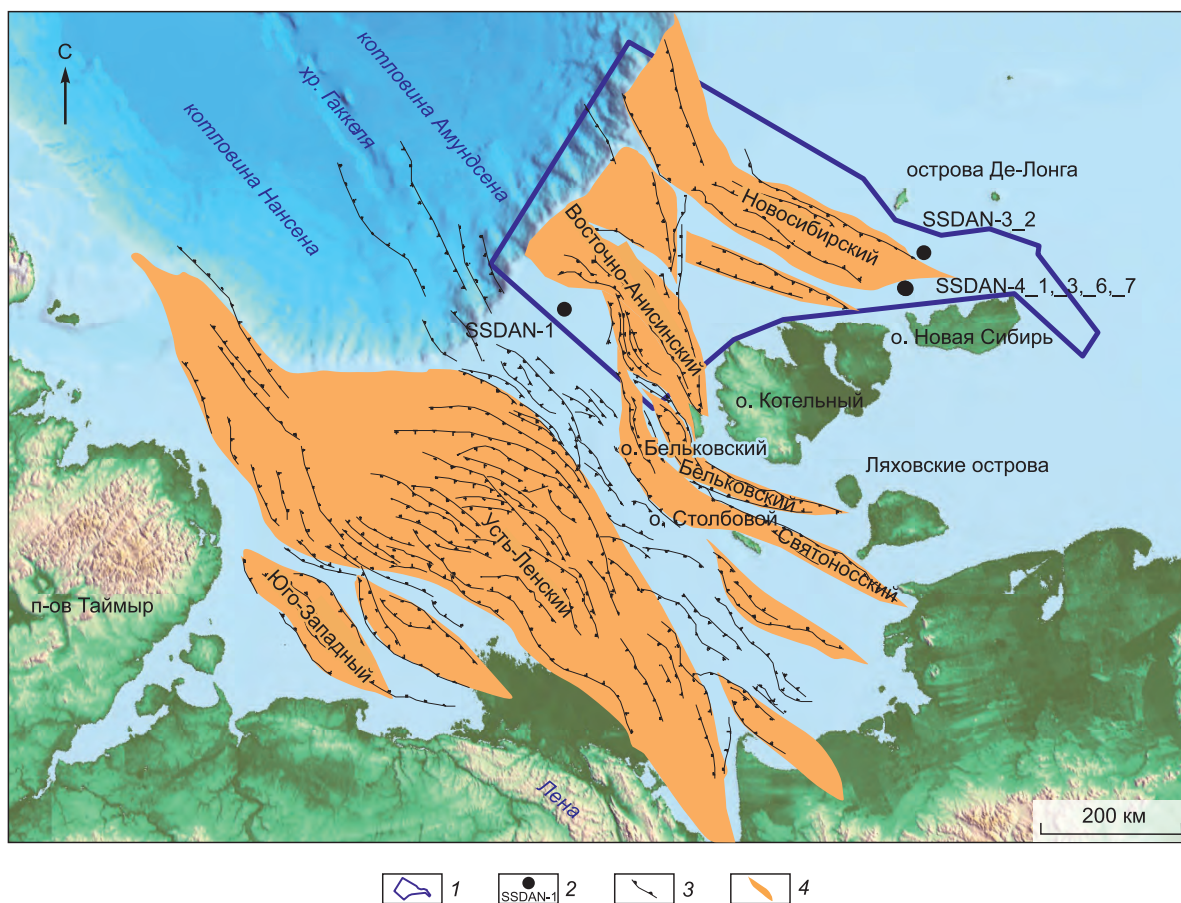


Рис. 1. Схема основных структурных элементов Лаптевоморского региона, составленная с использованием данных [Drachev, Shkarubo, 2017; Nikishin et al., 2019] и материалов Арктического научного центра ПАО «НК «Роснефть». 1 – контур Анисинско-Новосибирского ЛУ, 2 – скважина и ее номер, 3 – сбросы, 4 – рифтовые бассейны.

экспедиционных работ была выполнена инженерная малоглубинная сейсморазведка высокого разрешения на профилях, проходящих через проектные точки бурения стратиграфических скважин, для повышения разрешающей способности сейсмического изображения верхней части разреза. Малоглубинные скважины были заложены в разных точках участка таким образом, чтобы по возможности охарактеризовать весь разрез осадочного чехла изучаемого района от поверхности складчатого основания (со вскрытием последнего). Для выполнения инженерно-геофизических работ были привлечены суда «Капитан Во-

ронин» (в период с 24 сентября по 13 октября 2020 г.) и «Керн» (в период с 10 по 15 сентября 2021 г.).

С учетом малых глубин скважин в районе проведения экспедиции (проходка по грунту составляет первые сотни метров) выполнялся комплекс сейсморазведочных исследований, используемый в инженерно-геологической практике. Одновременно (за один проход судна) осуществлялись следующие виды работ: батиметрическая съемка многолучевым эхолотом, гидролокация бокового обзора, высокочастотное непрерывное сейсмоакустическое профилирование и двумерная сейсмическая съемка сверхвы-

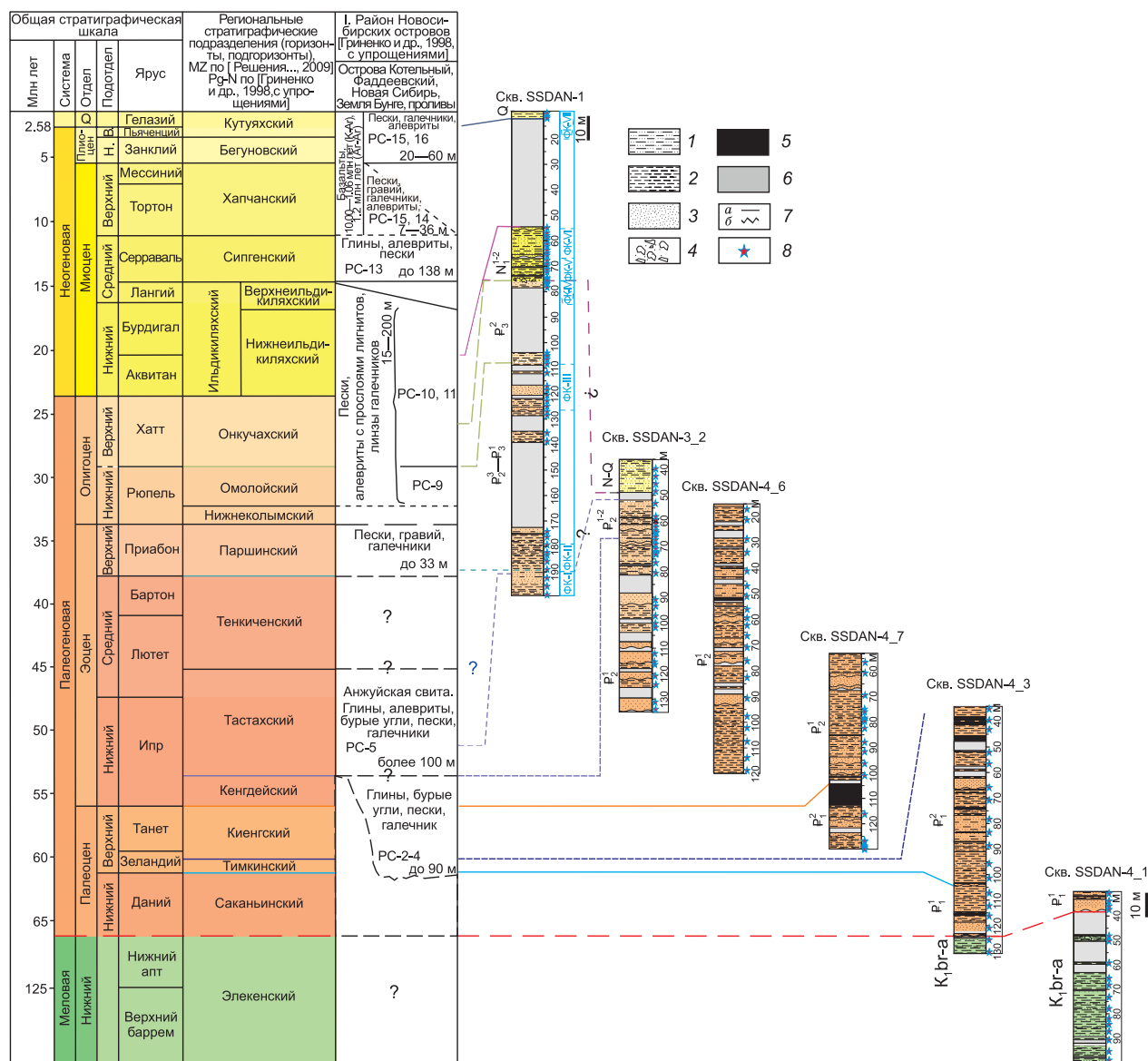


Рис. 2. Схема корреляции разрезов малоглубинных стратиграфических скважин. 1 – алевроиты, алевролиты; 2 – глины, аргиллиты; 3 – пески, песчаники; 4 – брекчии; 5 – угли; 6 – интервалы разреза без выноса керна; 7 – границы: а – со-гласная, б – эрозионная, в метрах указан уровень начала отбора керна от поверхности до дна; 8 – уровни отбора палинологических проб. PC – палинологический комплекс и его номер в региональной стратиграфической схеме [Гриненко и др., 1998]. Цветом в колонках показана корреляция интервалов разрезов скважин с региональными стратиграфическими подразделениями. Справа от разреза скв. SSDAN-1 показано положение комплексов фораминифер (ФК-I–ФК-VII), описанных в тексте статьи.

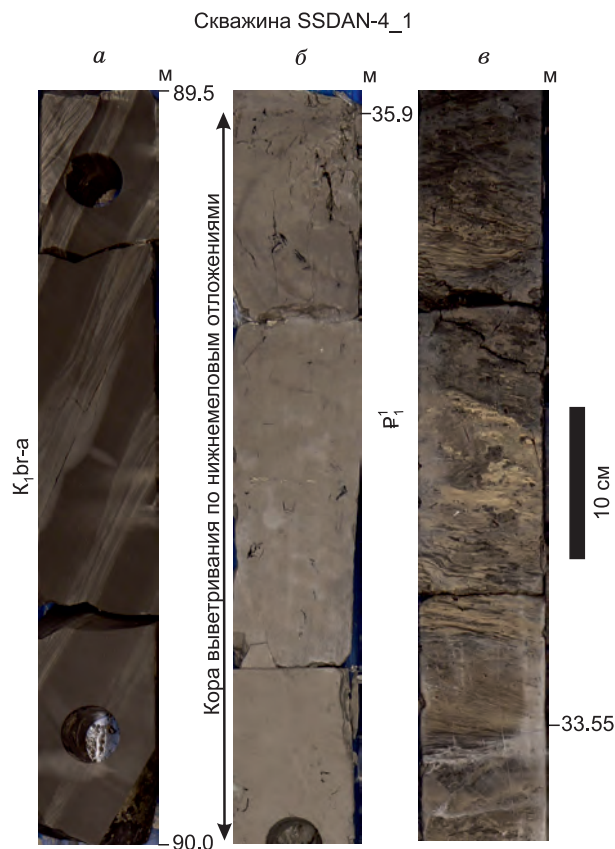


Рис. 3. Фотографии керн скв. SSDAN-4_1: *a* – деформированные верхнебарремско-нижнеаптские отложения, представленные переслаиванием алевролитов и аргиллитов (интервал 89.5–90.0 м); *б* – кора выветривания по нижнемеловым отложениям, сложенная массивными коричневыми глинами с фрагментами корневых систем растений (в интервале 35.9–36.4 м); *в* – нижнепалеоценовые отложения, представленные пачкой переслаивания песков и алевролитов с прослоями, обогащенными углистым детритом (в интервале 33.10–33.55 м).

сокого разрешения (2D-CCBP) с приповерхностной сейсмической косой.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ КЕРНА МАЛОГЛУБИНЫХ СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ СКВАЖИН

Разрезы скважин представлены преимущественно рыхлыми слабоконсолированными терригенными отложениями, залегающими субгоризонтально. В двух скважинах (SSDAN-4_1 и SSDAN-4_3) в нижних частях разреза вскрыты наклонно (моноклинально) залегающие отложения, представленные аргиллитами и алевролитами с подчиненными прослоями тонкозернистого песчаника.

Для определения возраста пород из керн всех скважин был выполнен палинологический анализ, а в скв. SSDAN-1 также были определены фораминиферы. В результате этих исследований в разрезах

скважин было установлено присутствие нижнемеловых, палеогеновых и неоген-четвертичных отложений (см. рис. 2).

Фораминиферы. В образцах из скв. SSDAN-1 встречено 59 видов фораминифер, из них 16 видов агглютинирующих форм и 43 известковых секреторных. Планктонных фораминифер не обнаружено ни в одном образце. По систематическому составу фораминифер разрез скважины четко разделится на две части: в нижней части встречены только агглютинирующие формы, а в средней и верхней – с секреторной раковиной. Комплексы фораминифер небогатые как по видовому составу, так и по количеству раковин в осадке. Сохранность раковин, как правило, хорошая, что позволило провести их определения до вида.

В разрезе скв. SSDAN-1 установлено семь комплексов фораминифер (см. рис. 2). В самой нижней части разреза был встречен комплекс ФК-I, состоящий только из агглютинирующих таксонов, таких как *Hemisphaerammina apta*, *Placentamina placenta*, *Haplophragmoides excavatus*, *H. walteri*, *H. horridus*, *Reticulophragmium amplexens*, *Cyclammina pusilla*, *Gravellina dawsoni*, *Verneuilinoides paleogenicus*, *Annectina grzybowskii* и др. Наибольший интерес для определения возраста пород представляет находка *Hemisphaerammina apta*. Данный оппортунистический вид является эндемиком Арктики и имеет достаточно узкий интервал стратиграфического распространения [McNeil, Neville, 2018]. Он заселял арктические моря после палеоцен-эоценового температурного максимума и просуществовал до азоллового события – расцвета в Арктическом океане водного папоротника *Azolla*. Поэтому самую нижнюю часть разреза мы относим в ипрскому ярусу нижнего эоцена.

Вышележащий комплекс ФК-II с *Reticulophragmium amplexens* имеет значительно более бедный состав по сравнению с ФК-I, но все встреченные виды переходят из нижележащего комплекса. Комплекс ФК-III с *Elphidiella brunnescens* датируется, предположительно, ранним олигоценом, а следующий за ним ФК-IV с *Turrillina alsatica* – поздним олигоценом. В породах выше по разрезу встречены комплексы фораминифер, отвечающие нижнему (ФК-V с *Asterigerina guerichii*) и среднему–верхнему (?) (ФК-VI с *Elphidiella groenlandica*) миоцену. В самых верхах разреза отмечен плейстоценовый комплекс ФК-VII с *Criboelphidium clavatum*.

Палинокомплексы. Наиболее древний стратиграфический интервал, установленный в ходе бурения на Анисинско-Новосибирском ЛУ (скважины SSDAN-4_1 и 4_3) представлен отложениями, залегающими под достаточно крутыми углами ниже поверхности складчатого основания. В низах разреза скв. SSDAN-4_3 и в большей части охарактеризованного керном разреза скв. SSDAN-4_1 установлен верхнебарремский–нижнеаптский палинокомплекс, наиболее полно представленный в разрезе скв. SSDAN-4_1 (см. рис. 3).

Обнаруженные палиноморфы на этом уровне имеют очень плохую сохранность. Среди них доминируют споры и пыльца растений (более 85 %). Диноцисты обнаружены в большинстве проб, однако их содержание низкое (0.7–12.6 %). В группе спор и пыльцы растений пыльца покрытосеменных отсутствует, доминирует двухмешковая пыльца голосеменных (*Disaccites*). Среди диноцист определены *Apteodinium* sp., *Aptea polymorpha*, *Batioladinium* spp. (*B. longicornutum*, *B. cf. exguum*, *B. cf. jaegeri*, *B. cf. reticulatum*, *B. sp.*), *Gardodinium trabeculosum*, *Gardodinium* sp., *Odontochitina* spp. (*O. nuda*, *O. operculata*), *Oligosphaeridium complex*, *Palaeoperidinium cretaceum*, *Pseudoceratium anaphrissum*, *Pseudoceratium* sp., *Circulodinium* sp., *Cribroperidinium cf. cornutum*, *Cribroperidinium* sp., *Florentinia* sp., *Hystrichosphaeridium* sp., *Kallosphaeridium* sp., переотложенные *Nannoceratopsis deflandrei* и *Phallocysta* sp. Совместная встречаемость видов *P. cretaceum*, *O. operculata*, *O. nuda*, *G. trabeculosum*, *O. complex* в высоких широтах Северного полушария варьирует в интервале от барремского до альбского времени [Brideaux, 1977; Århus, 1991; Nøhr-Hansen, McIntyre, 1998; Galloway et al., 2022]. Распространение *O. nuda* в разрезах Гренландии ограничено верхним барремом–нижним аптом, а исчезновение *B. longicornutum* зафиксировано в терминальном барреме [Nøhr-Hansen, 1993; Nøhr-Hansen et al., 2019]. Аналогичные датировки выявлены в высокоширотных разрезах Шпицбергена и севера Норвегии [Śliwińska et al., 2020; Smelror, 2021]. Исходя из данных по диноцистам, отложения датированы поздним барремом–ранним аптом.

Выше в разрезах скважин SSDAN-4_3 (инт. 120.70–112.24 м) и SSDAN-4_1 (инт. 37.77–30.64 м) установлен палинокомплекс саканьинского горизонта нижнего палеоцена Северо-Востока России [Фрадкина, 1995; Гриненко и др., 1998] (см. рис. 2, 3). В отдельных интервалах разреза в единичных экземплярах найдены диноцисты *Apteodinium* sp., *Batiacasphaera* sp., *Membranosphaera maastrichtica*, имеющие широкий возрастной диапазон распространения.

Перекрывающие породы в разрезе скважины SSDAN-4_3 (инт. 107.5–39.1 м) охарактеризованы спорово-пыльцевым комплексом тимкинского горизонта Северо-Востока России, сопоставляемого с нижней частью верхнего палеоцена [Фрадкина, 1995; Гриненко и др., 1998] (см. рис. 2). Диноцисты присутствуют в единичном количестве (0.3–0.4 %) в нижней части разреза.

Более высокие горизонты палеоцена вскрыты в нижней части разреза скв. SSDAN-4_7 (инт. 129.67–115.20 м) и охарактеризованы палинокомплексом кингского горизонта Северо-Востока России, сопоставляемого с верхней частью верхнего палеоцена [Фрадкина, 1995; Гриненко и др., 1998] (см. рис. 2). Палинологическая ассоциация характеризуется до-

минированием спор и пыльцы растений (94–98 %). Диноцисты и акритархи не обнаружены, содержание зеленых водорослей – от 4.9 до 1.7 %, плодовых тел, спор и гифов грибов – от 0.4 до 3.9 %.

В разрезах скважин SSDAN-4_7 (инт. 100.38–56.77 м), SSDAN-4_6 (инт. 119.90–15.85 м), SSDAN-3_2 (инт. 134.91–70.09 м) и SSDAN-1 (инт. 199.36–188.95 м) выявлен палинокомплекс кенгдейского горизонта Северо-Востока России, сопоставляемый с нижней частью нижнего эоцена [Фрадкина, 1995; Гриненко и др., 1998] (см. рис. 2). Палинологической ассоциации присуще доминирование спор и пыльцы растений (74.3–95.4 %). Диноцисты и зеленые водоросли присутствуют постоянно в небольшом количестве (максимально 19.7 % от суммы всех палиноморф), в единичных экземплярах обнаружены акритархи и сколекодонты. Количество плодовых тел, спор и гифов грибов составляет от 3.1 до 10 %.

Спорово-пыльцевой комплекс кенгдейского горизонта близок комплексу из интервала 330.01–380.38 mcd в разрезе скв. M0004A на хр. Ломоносова [Willard et al., 2019; Suc et al., 2020], а также частично палиноспектрам, установленным на п-ове Фаддеевский [Suan et al., 2017], в низовьях р. Лена [Bondarenko, Utescher, 2022], палинозомам I и H из формации Маргарет Арктической Канады [Sudermann et al., 2021]. Все они были датированы ранним эоценом. В бассейне Бофорта-Маккензи схожие с кенгдейским палинокомплексом спектры характеризуют временной интервал от раннеэоценовой части Aklak Sequence до низов Richards Sequence среднего эоцена [Norris, 1986, 1997; McNeil, Parsons, 2013].

На этом уровне выявлен максимум количества и разнообразия диноцист, среди которых количественно преобладают перидиниоидные таксоны (*Saeptodinium* sp., *Apectodinium parvum*, *Apectodinium homomorphum*, *Apectodinium* sp., *Cerodinium sibiricum*, *Cerodinium* sp., *Lejeunecysta hyalina*, *Lejeunecysta* sp., *Senegalinium cf. dylwinense*, *Senegalinium cf. obscurum*, *Senegalinium* sp., *Wetzeliella (Dracodinium) cf. astra*, *Wetzeliella aff. articulata-group*, *Wetzeliella (Stenodinium) meckelfeldensis*, *Wetzeliella* sp. и др.). Обилие и разнообразие гетеротрофных таксонов свидетельствует о сильно опресненных палеообстановках в это время. Гониаулакоидные таксоны относительно разнообразны, но их количество малое. Они представлены *Achomosphaera sagena*, *Achomosphaera* sp., *Areoligera* sp., *Dioxya pignerata*, *Elytrocysta druggii*, *Glyphocysta ordinata*, *Hystrichisphaeridium tubiferum*, *Membranosphaera* sp., cf. *Caligodinium* sp., *Cometodinium* sp., *Spinidinium* sp., *Spinidinium cf. densispinatum*, *Spiniferites* sp., *Thalassiphora delicata*, *Tectatodinium pellitum*, *Tectatodinium* sp., *Operculodinium cf. microtrianium*, *Operculodinium* sp., *Palaeocystodinium lidiae* и неопределимыми формами.

В скв. SSDAN-1 на уровне раннеэоценового комплекса фораминифер ФК-I с *H. apta* среди диноцист

доминируют *Phelodinium* sp. A, *Senegalinium* cf. *obscurum*, относительно часты *Spiniferites* sp., *Impagidinium* sp. Им сопутствуют немногочисленные *Cerodinium depressum*, *Dioxya pignerata*, *Lejeunecysta* spp., *Batiacasphaera* spp., *Phthanoperidinium obscurum*, *Selenopemphix* spp., *Cometodinium comatum*, *Phthanoperidinium* sp.

Установленное в разрезах изученных скважин частое присутствие и разнообразие перидиниоидных таксонов диноцист позволяет сближать эти ассоциации с установленной в ранне- и среднеэоценовой части разреза скв. M0004A на хр. Ломоносова [Backman et al., 2006; Sluijs et al., 2008, 2009]. Комплекс диноцист, выявленный в разрезах скважин SSDAN-4_7, SSDAN-4_6 и SSDAN-3_2, также может быть сопоставлен с зоной *Wetzeliella articulata*–*Cordosphaeridium inodes* бассейна Бофорта–Маккензи, датируемой ранним–средним эоценом [Harrison et al., 1999].

Спорово-пыльцевые спектры верхней части разреза скв. SSDAN-3_2 (инт. 68.60–48.54 м), с долей условности, отнесены к палинокомплексу тастахского горизонта второй половины нижнего–первой половины среднего эоцена [Фрадкина, 1995; Гриненко и др., 1998] (см. рис. 2). Они характеризуются обилием и очень высоким разнообразием пыльцы покрытосеменных, в том числе наиболее термофильных вечнозеленых растений. Диноцисты (0.4–6.4 %) и прازیнофиты (1.8–6.0 %) встречаются в небольшом количестве, и лишь на отдельных уровнях содержание каждого из них превышает 10 %. В составе диноцист по-прежнему преобладают гетеротрофные таксоны.

Биостратиграфические данные из средней и верхней частей разреза скв. SSDAN-1 получены на изолированных уровнях, что не позволило получить непрерывную смену комплексов фораминифер и палинокомплексов. По палинологическим данным, спорово-пыльцевой комплекс, установленный на уровне ФК-II с *R. amplexans* среднего–верхнего эоцена (инт. 185.8–179.1 м), отвечает палинокомплексу паршинского горизонта Северо-Востока России второй половины среднего–первой половины верхнего эоцена [Фрадкина, 1995; Гриненко и др., 1998]. На этом уровне таксономический состав диноцист резко изменяется: в самых низах обильна *Kotewuia* sp., выше она отсутствует и обнаружены малочисленные, чаще единичные экземпляры *Phelodinium* sp. A, *Senegalinium* sp., *Batiacasphaera* sp.

Палинологические данные указывают на отсутствие в разрезе скв. SSDAN-1 палинокомплексов тастахского и тенкиченского горизонтов [Фрадкина, 1995; Гриненко и др., 1998] (см. рис. 2), что предполагает наличие перерыва в разрезе, охватывающего верхнюю часть раннего–нижнюю часть среднего эоцена. По фораминиферам этот перерыв также предполагается, однако его объем неясен и требует подтверждения.

Спорово-пыльцевой комплекс в интервале разреза 176.4–119.1 м, верхняя часть которого охарактеризо-

вана комплексом фораминифер ФК-III, аналогичен палинокомплексам атлымского и новомихайловского горизонтов Западной Сибири, омолойского горизонта территории Северо-Востока России и Сибирской платформы [Практическая палиностратиграфия, 1990; Фрадкина, 1995; Волкова и др., 2002], что также позволяет датировать отложения ранним олигоценом.

Спорово-пыльцевой комплекс из вышележащей толщи пород в скв. SSDAN-1 (инт. 117.50–76.84 м), содержащей в верхней части верхнеолигоценовый комплекс фораминифер ФК-IV с *Turillina alsatica*, по систематическому составу и количественным характеристикам отвечает палинокомплексу журавского горизонта Западной Сибири, его аналогам на Северо-Востоке России и датируется первой половиной позднего олигоцена [Панова, 1971; Практическая палиностратиграфия, 1990; Волкова и др., 2002]. Диноцисты обнаружены в некоторых пробах и их содержание очень малое – 0.8–3.8 % от суммы всех палиноморф. При этом присутствуют преимущественно неопределимые разрушенные формы, а также *Phthanoperidinium* sp. 1, *Operculodinium centrocarpum*, *Operculodinium* sp., *Lejeunecysta* sp., не дающие конкретных возрастных датировок.

В интервале разреза 76.4–54.9 м в скв. SSDAN-1, охарактеризованном комплексами фораминифер ФК-V с *A. guerichii* и ФК-VI с *E. groenlandica* нижнего–среднего миоцена, разнообразно представлены диноцисты. Комплекс характеризуется присутствием *Lejeunecysta* sp., *Batiacasphaera* spp., *Cleistosphaeridium placacanthum*, *Gelatia* sp., *Heteraulacacysta campanula*, *Hystrichosphaeropsis complanata* – *Hystrichosphaeropsis obscura* group, *Impagidinium* spp., *Labyrinthodinium truncatum*, *Lingulodinium machaerophorum*, *Operculodinium* spp., *Votadinium* sp., *Palaeocystodinium golzowense*, *Palaeocystodinium* cf. *miocaenicum*, *Spiniferites* spp., *Tuberculodinium vancampoe* и коричневыми сферическими оболочками, сближаемыми с протоперидиниоидным родом *Bri-gantedinium*. Часть таксонов не определена ввиду плохой сохранности.

В целом этот интервал разреза может быть сопоставлен с Unit ¼–частью Unit 3 в разрезе скв. M0002A на хр. Ломоносова, имеющего, по данным изучения диноцист и фораминифер, ранне- и среднемиоценовый возраст [Sangiorgi et al., 2008; Kaminski et al., 2009]. Сравнение комплекса диноцист из скв. SSDAN-1 показывает, что стратиграфический диапазон совместной встречаемости диноцист *H. complanata*–*H. obscura* group, *L. truncatum*, *P. golzowense*, *P. cf. miocaenicum* в зональной шкале Северо-Западной Европы охватывает интервал бурдигала–средней части тортона [King, 2016]. Эти данные указывают на наличие перерыва в осадконакоплении, охватывающего стратиграфический интервал верхней части позднего олигоцена–нижней части раннего миоцена, что подтверждается наличием в разрезе скв. SSDAN-1 конгломератобрекчий и фосфоритов.

Венчается разрез скв. SSDAN-1 осадками, охарактеризованными спорово-пыльцевым комплексом плейстоцена, который реконструирует тундровые ландшафты с преобладанием травянистых группировок (злаковых, злаково-осоковых, злаково-разнотравных).

ОБСУЖДЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Ранее, до проведения стратиграфического бурения, интерпретация сейсмических профилей 2D по Анисинско-Новосибирскому ЛУ проводилась с учетом данных по геологическому строению обрамляющей материковой суши и арх. Новосибирские острова (см. выше). В качестве базовой модели принималось, что на позднемезозойском складчатом основании, включающем комплексы от ордовика до неокома (до-аптское складчатое основание), с резким угловым несогласием залегают отложения осадочного чехла в стратиграфическом диапазоне апта-альба–верхнего мела–кайнозоя. В недавней работе [Никишин и др., 2022] непосредственно севернее о. Новая Сибирь, в районе изучаемого участка шельфа, выделяется Жохровский краевой прогиб, развитый перед фронтом поздних мезозойских Новосибирско-Чукотской складчатой системы и заполненный, предположительно, отложениями верхней юры–баррема. Соответственно, предполагалось, что накопление постскладчатого чехла здесь также началось с аптского века раннего мела [Никишин и др., 2022]. Проведенное в 2021 г. ПАО «НК «Роснефть» стратиграфическое бурение впервые позволило получить прямые геологические данные о возрасте и составе отложений шельфа северо-восточного сектора моря Лаптевых. На основании полученных материалов выполнена сейсмостратиграфическая привязка отражающих горизонтов (ОГ), выделены основные сейсмостратиграфические комплексы (ССК).

По результатам проведенной работы уже на данном этапе удалось детализировать и скорректировать наши более ранние модельные представления о геологическом строении и этапах развития изучаемого участка моря Лаптевых и отчасти прилегающей северо-западной акватории Восточно-Сибирского моря.

В пределах изученного стратиграфическим бурением Анисинско-Новосибирского ЛУ по сейсмостратиграфическим наблюдениям на данных сейморазведки 2D выделяется два структурных этажа – складчатое основание и несогласно перекрывающий его чехол, разделенные поверхностью ясно выраженного углового несогласия (ОГ Fa). В нижнем мегакомплексе широко развиты наклонные (моноклинально залегающие) и волнообразные (смятые в складки) пакеты рефлекторов, а также области отсутствия регулярной сейсмической записи. Помимо этого, встречаются

близкорасположенные блоки с резко дискордантной по отношению друг к другу волновой картиной, что указывает на тектонический характер контактов между ними. Углы падения рефлекторов варьируют от первых градусов на отдельных моноклиналях до 40° и более на крыльях складок (при больших углах когерентные отражения исчезают). Поверхность ОГ Fa срезает все элементы внутренней (деформационной) структуры нижнего комплекса и соответствует региональной эрозионной границе. Все это указывает на то, что для этого комплекса наблюдается волновая картина, характерная для областей проявления складчато-надвиговой тектоники. Соответственно, сам нижний комплекс относится к складчатому основанию, перекрытому вышележащим осадочным чехлом, для которого характерны принципиально отличные черты сейсмической стратиграфии и тектоники.

В разрезе осадочного чехла изучаемого Анисинско-Новосибирского ЛУ согласно сейсмостратиграфии выделено два структурных яруса, разделенных границей I (ОГ, приуроченный к верхнемиоценовым отложениям). В пределах нижнего структурного яруса прокоррелировано три отражающих горизонта (ОГ IV в подошве эоценовых отложений, ОГ III внутри эоценовых отложений и ОГ II в подошве миоценовых отложений), заполняющих рифтовые впадины. Верхний структурный ярус (верхний миоцен–плейстоцен) плащеобразно перекрывает нижележащие отложения. Основная часть выделенных тектонических нарушений, по большей части представляющих собой сбросы с видимой амплитудой смещения, не прослеживается выше горизонта I. При этом для сейсмокомплекса верхнемиоцен(?)–четвертичных отложений для отдельных разрывных нарушений фиксируются признаки малоамплитудных смещений, а также косвенные признаки наличия разрывных нарушений, такие как аномалии типа газовых трубок над разломами в нижележащих комплексах, различия в амплитудах сейсмических отражений на крыльях разломов, наличие аномальных форм рельефа дна (нептунические структуры?) и т. п. По всей видимости, эти признаки отражают современную тектоническую активность изученного сегмента лаптевоморского шельфа, фиксируемую также по данным современных сейсмологических наблюдений [Аветисов, 2002; Имаева и др., 2016; Крылов и др., 2022]. Таким образом, в разрезе выделено пять сейсмических комплексов, разделенных четырьмя регионально-выдержанными отражающими горизонтами (IV, III, II и I) (рис. 4–6).

Породы складчатого основания были вскрыты в скв. SSDAN-4_1 на глубине 49.13 м и в скв. SSDAN-4_3 на глубине 123.85 м. Они представлены сильно-выветрелыми в кровельной части и трещиноватыми терригенными отложениями раннемелового, позднебарремского–раннеаптского возраста (наиболее древними из вскрытых), на которых с резким углом

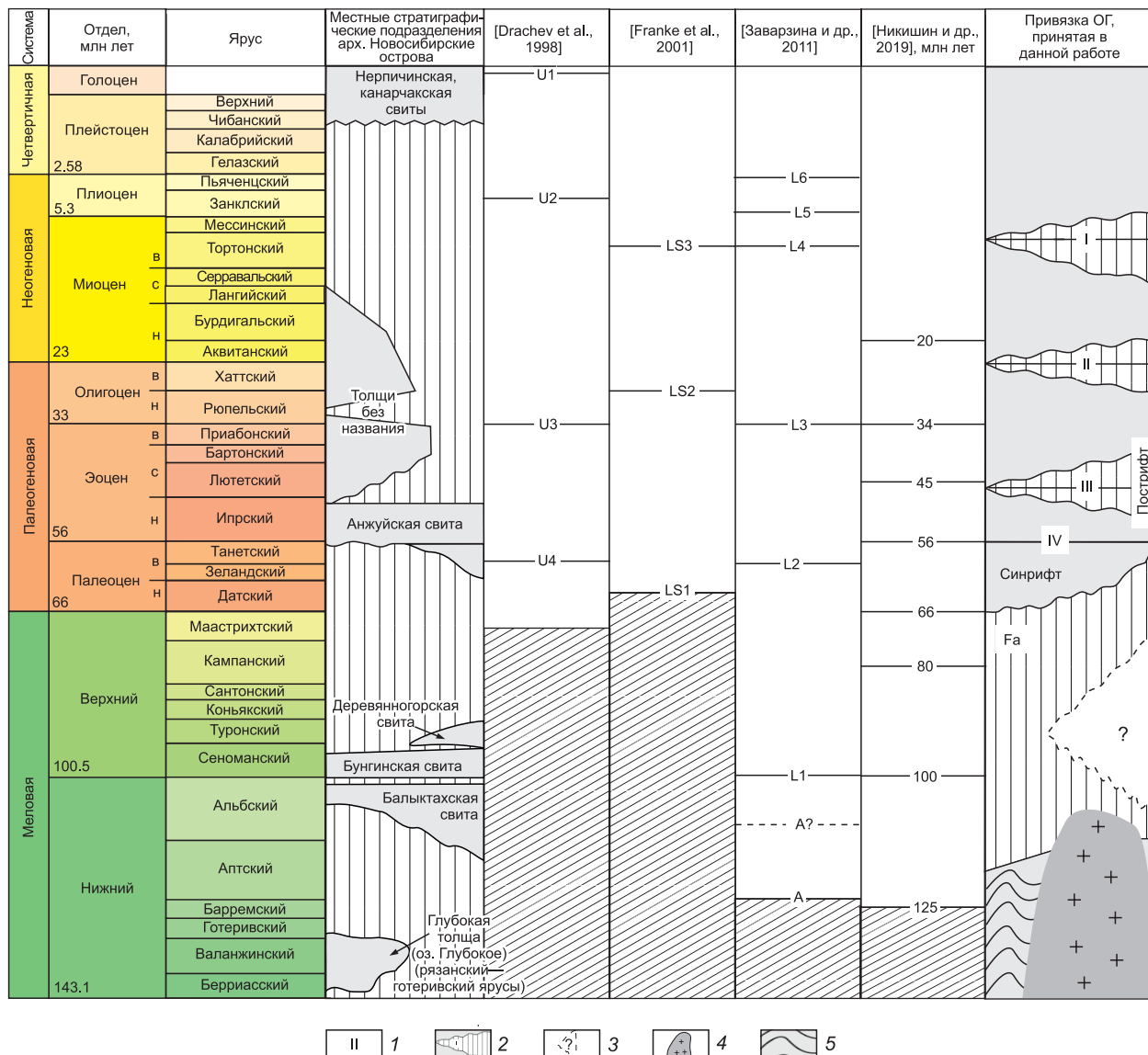


Рис. 4. Сопоставление сеймостратиграфических схем осадочного чехла Лаптевоморского региона, по [Drachev et al., 1998; Franke et al., 2001; Заварзина, Шкарубо, 2012; Nikishin et al., 2019], с принятой в данной работе для северо-восточной части моря Лаптевых по результатам бурения малоглубинных скважин. 1 – индекс отражающего горизонта, 2 – перерыв в осадконакоплении, 3 – предполагаемые осадочные комплексы, 4 – апт-альбские гранитоиды о. Большой Ляховский, 5 – деформированные отложения (баррем–нижний апт).

вым несогласием залегают континентальные терригенные образования нижнего палеоцена.

В разрезе скв. SSDAN-4_1 непосредственный контакт с перекрывающими отложениями керном не охарактеризован, но отмечено значительное угловое несогласие: углы падения, измеренные по керну скважины, верхнебарремских–нижнеаптских отложений достигают 60°, против практически горизонтально залегающих перекрывающих отложений (см. рис. 3). В разрезе скв. SSDAN-4_3 углы залегания верхнебарремских–нижнеаптских отложений не превышают 3°, но на границе с перекрывающими палеоценовыми отложениями присутствует четкий эрозионный контакт с карманом, заполненным гравием и

галькой. Вещественный состав пород предрифтового комплекса из обеих скважин сходный, хотя и не одинаковый, а биостратиграфические датировки показывают близкий состав комплексов диноцист и миоспор. Докайнозойский возраст комплекса надежно зафиксирован базальными горизонтами нижнего палеоцена в перекрывающих угловое несогласие отложениях синрифтового комплекса.

Необходимо отметить, что на основании интерпретации данных сейморазведки 2D отмечается наращивание мощности докайнозойского разреза при удалении от точек бурения (см. рис. 6) в северо-западном направлении, что позволяет предполагать в его составе и более молодые относительно датиро-

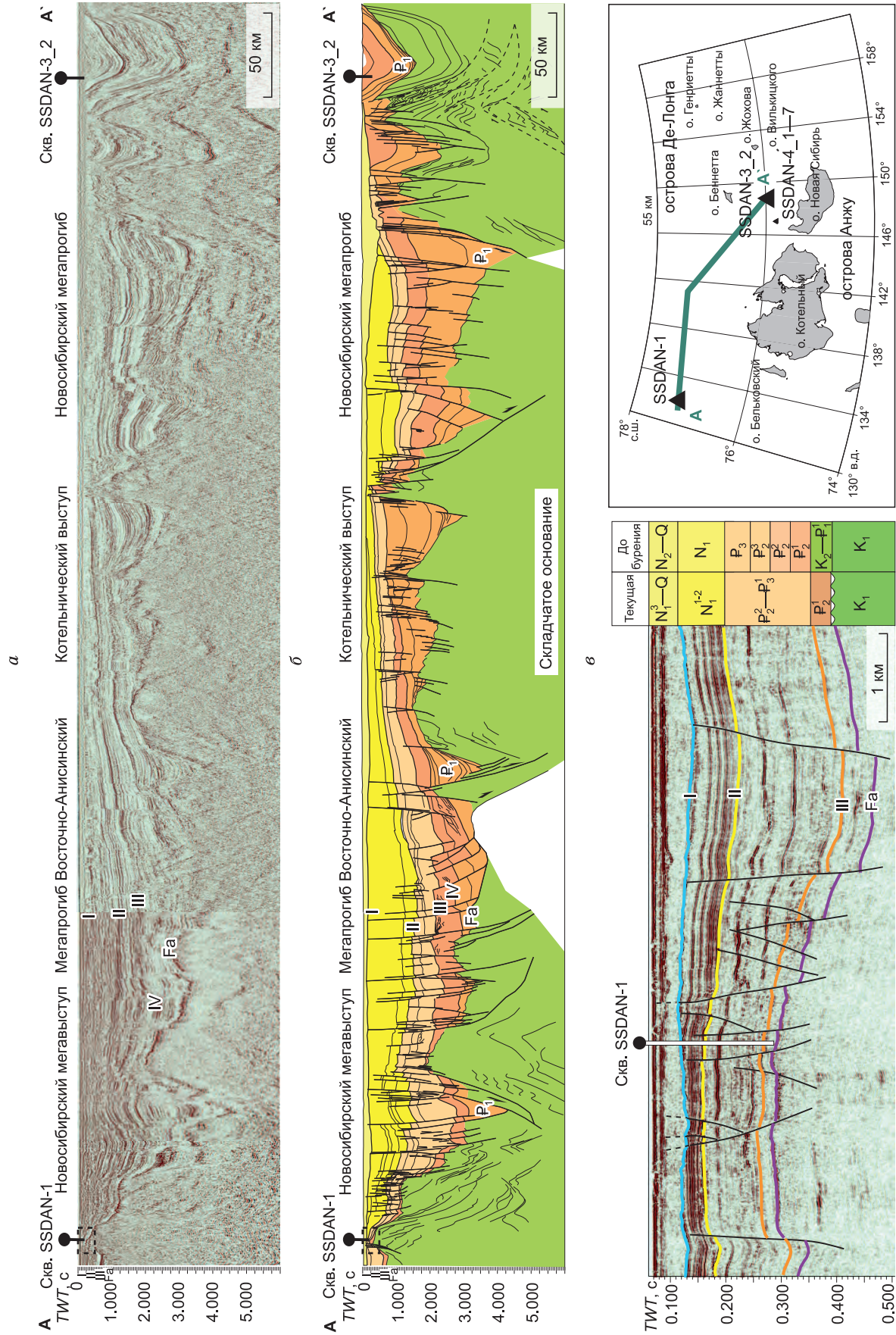


Рис. 5. а – временной разрез МОГТ 2D по линии А-А'; б – сейсмогеологический профиль по линии А-А'; в – сейсмический разрез сверхвысокого разрешения через скважину SSDAN-1 (местоположение см. в левой части сейсмогеологического профиля) с интерпретацией ключевых отражающих горизонтов и их стратиграфической привязкой по текущим результатам анализа данных бурения малоглубинных скважин в сравнении с базовой моделью, составленной до бурения (колонки в правой части рисунка). Здесь и на рис. 6 штриховой рамкой показано положение профиля ССВР на врезке (в), кинематика разломов показана стрелками.

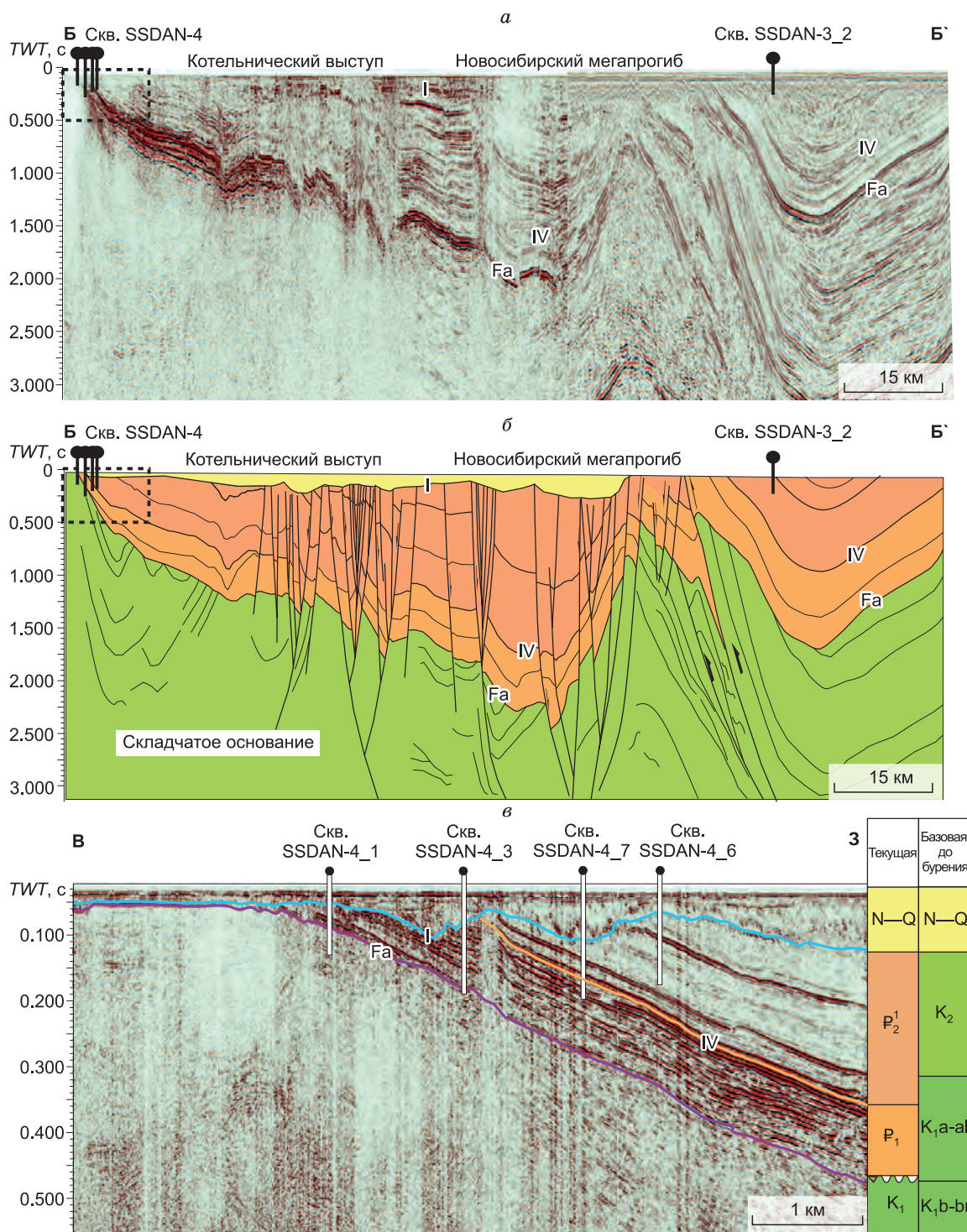


Рис. 6. а – временной разрез МОГТ 2D по линии Б–Б'; б – сейсмогеологический профиль по линии Б–Б'; в – сейсмический разрез сверхвысокого разрешения через скважины SSDAN-4_1, SSDAN-4_3, SSDAN-4_7 и SSDAN-4_6 (местоположение см. в левой части сейсмогеологического профиля) с интерпретацией ключевых отражающих горизонтов и их стратиграфической привязкой по текущим результатам анализа данных бурения малоуглубинных скважин в сравнении с базовой моделью, составленной до бурения (колонки в правой части рисунка).

ванных отложений породы нижнего(?) мела. Мощность отложений, надстраивающих вскрытый разрез нижнемеловых пород, составляет по крайней мере 250 м (более 400 м). В этой части стратифицированной толщи пород складчатого основания угловых несогласий, которые можно было бы сопоставить с несогласием в основании балыхтахской свиты верхнего апта–альба о. Котельный, не отмечено. Соответственно, мы условно принимаем, что породы складчатого основания, перекрывающие верхнебарремские–нижнеаптские отложения, также по возрасту не моложе раннего апта.

Таким образом, распространение позднемезозойского складчатого комплекса к северу от арх. Новосибирские острова впервые подтверждено прямыми геологическими данными и показано, что окончательное его становление произошло не ранее раннеаптского времени. Принимая в расчет возраст постскладчатых гранитоидов, древнейшие из которых датированы серединой аптского века, примерно 117 млн лет [Катков и др., 2007; Лучицкая, Соколов, 2021], этот вывод свидетельствует о завершении финальной фазы коллизионных процессов в Новосибирско-Чукотской складчато-надвиговой системе в начале апта. Древнейшая известная U-Pb датировка по цирконам постскладчатого Шалауровского плутона на о. Большой Ляховский соответствует 121.2 ± 2.4 млн лет [Кузьмичев и др., 2009б], что примерно отвечает границе баррема и апта. В нескольких последних работах [Кузьмичев и др., 2009а, 2018; Никитенко и др., 2017] указывается, что постскладчатые нижнемеловые отложения о. Котельный начали накапливаться только в конце аптского века и имеют преимущественно альбский (первая половина) возраст.

Ранее самые молодые отложения, вовлеченные в коллизионные деформации сжатия, были датированы в пределах Южно-Аннуйской сутуры как готерив (~ 131 млн лет) [Бондаренко и др., 2002]. Полученная нами датировка самых молодых пород складчатого основания (ранний апт) маркирует нижний возрастной предел его становления в регионе. Этот результат достаточно хорошо сопоставляется со временем воздымания западной части островов арх. Анжу, что было определено по данным низкотемпературной термохронологии в ~ 125–93 млн лет, т. е. в барремтуронское время [Prokoriev et al., 2018].

Комплекс отложений, залегающий в основании чехла и ограниченный в кровле ОГ IV, характеризуется широким развитием разрывных нарушений сбросовой кинематики и синтетектоническим заполнением связанных с ними грабенов и полуграбенов (см. рис. 5, 6). Амплитуда смещений по отдельным сбросам превышает сотни метров–первые километры. Возраст этого синрифтового сейсмокомплекса между ОГ Fa и IV определен по комплексу диноцист и палинологических ассоциаций как палеоценовый. В разрезах скважин SSDAN-4_3 и SSDAN-4_1 непосред-

ственно выше ОГ Fa выявлены спорово-пыльцевые комплексы саканьинского горизонта нижнего палеоцена и тимкинского горизонта нижней части верхнего палеоцена. Горизонт IV вскрыт скважиной SSDAN-4_7, ниже которого установлен палинологический комплекс киевского горизонта верхней части верхнего палеоцена. В основании вышележащего комплекса, выделяемого между ОГ IV и III, обнаружены палинологические ассоциации кенгдейского горизонта нижней части нижнего эоцена. Таким образом, горизонт IV может быть отнесен к границе типа рифт–пострифт и ассоциирован с региональным событием – началом спрединга в Евразийском бассейне близко к рубежу палеоцен–эоцен, около 56 млн лет назад [Nikishin et al., 2014, 2019; Gaina et al., 2015; Никишин и др., 2022]. При этом, исходя из имеющихся сейсмических корреляций, нельзя исключить наличие низов нижнего эоцена в составе этого комплекса. Сейсмокомплекс характеризуется отражениями средней и высокой интенсивности, что связано, вероятно, с преимущественно континентальным генезисом отложений, установленным по данным наших палинологических исследований и присутствию прослоев и линз углей в разрезах скважин. Мощность отложений этого сейсмокомплекса изменяется от первых метров до 3500 м и более в центральных, наиболее глубоко погруженных частях рифтов.

Вышележащий сейсмокомплекс выделяется между горизонтами IV и III, характеризуется отражениями от прерывистых до протяженных и содержит отдельные высокоамплитудные отражения. Этот сейсмокомплекс на основе разрезов, вскрытых скважинами SSDAN-1, SSDAN-4_7, SSDAN-4_6 и SSDAN-3_2, датируется ранним эоценом. Сейсмокомплекс может отсутствовать в пределах поднятий и достигает мощности до 1100 м в центральных частях впадин.

Сейсмокомплекс между ОГ III и II характеризуется различными формами сейсмической записи: от протяженных высокоамплитудных отражений до прерывистых. Максимальная его мощность достигает 1000 м. Этот сейсмокомплекс вскрыт в разрезе скв. SSDAN-1, представлен алевро-глинистыми мелководно-морскими отложениями. Здесь установлены фораминиферы среднего–(?)верхнего эоцена и палинокомплекс паршинского горизонта второй половины среднего–первой половины верхнего эоцена, а выше по разрезу выявлены фораминиферы и палинокомплекс омолойского горизонта нижнего олигоцена.

Сейсмокомплекс между ОГ II и I вскрыт скв. SSDAN-1 и датирован комплексами фораминифер нижнего–среднего миоцена и диноцист бурдигала–средней части тортона, т. е. второй половины раннего–начала позднего миоцена. Он представлен протяженными высокоамплитудными отражениями и имеет мощность до 1500 м. ОГ I в кровле комплекса представляет собой эрозионную поверхность с параллельным несогласием и развитыми врезанными

долинами. На наличие перерыва в подошве ССК в объеме верхней части позднего олигоцена–нижней части раннего миоцена указывают и биостратиграфические данные.

Все перечисленные сейсмические комплексы осложнены разрывными нарушениями сбросовой природы (см. рис. 5, 6), что свидетельствует о проявлении стадии относительно молодого растяжения, предшествовавшего формированию эрозионной поверхности ОГ I.

Самый молодой сейсмокомплекс, выделенный между ОГ I и дном моря, вскрыт всеми скважинами, однако отбор керна был произведен только в верхней части скв. SSDAN-1, где в глинисто-алевритовых отложениях были установлены плейстоценовый палинокомплекс, реконструирующий тундровые ландшафты с преобладанием пыльцы трав и современный комплекс фораминифер. Сейсмокомплекс характеризуется отражениями от прерывистых до протяженных. Мощность его изменяется от 0 до 150 м, достигая в отдельных районах 450 м. Возраст пород сейсмокомплекса с долей условности по положению в разрезе выше нижнего тортонна и резко эрозионной поверхности в подошве нами принимается как позднемiocен(?)–четвертичный.

Интересно отметить, что на отдельных профилях сверхвысокого разрешения (см. рис. 6, врезка) видно, что породы самого верхнего комплекса вовлечены в достаточно интенсивные деформации (возможно, складчато-надвиговой природы?). По-видимому, эти деформации могут быть парагенетичны гляциодислокациям, известным на о. Новая Сибирь и связанными с крупнейшим неоплейстоценовым оледенением [Голионко и др., 2019].

На основании интерпретации сейсмических данных были закартированы тектонические нарушения, большинство из которых представляют собой литрические сбросы с плоскостями смещения, выходящими ниже кровли акустического фундамента. Многочисленные сбросы в Лаптевоморском ОБ являются результатом растяжения, связанного с раскрытием Евразийского бассейна, которое продолжалось на протяжении всего кайнозойского (или, возможно, апт-кайнозойского?) времени. По полученным данным сейсмической интерпретации, в истории развития региона предполагаются два этапа рифтогенеза, которые, по-видимому, связаны с характером взаимодействия Евразийской и Северо-Американской плит на протяжении мел(?)–кайнозойского времени. По результатам стратиграфического бурения установлено, что отложения, выполняющие рифтовые впадины, имеют в исследуемом районе палеоценовый возраст, следовательно, основной, наиболее древний этап рифтинга происходил именно в эту эпоху. Пострифтовый комплекс датирован эоценом. Вторая фаза растяжения имеет более молодой позднемiocеновый (мессинский?) или плиоценовый

возраст. Время ее проявления определяется установленным раннемiocеновым–тортонским возрастом сейсмокомплекса между ОГ II и I, нарушенного молодыми разрывными нарушениями сбросовой и трансензионной природы. По всей видимости, слабопроявленные деформации самого молодого сейсмокомплекса (ОГ I – дно) отражают современный тектонический режим субширотного растяжения, выраженный, в частности, в повышенной сейсмичности региона исследований.

Полученные данные указывают на существенно большую роль кайнозойских отложений в строении осадочного чехла северо-востока моря Лаптевых, чем это предполагалось ранее (см. рис. 4, 6). В полученном керне стратиграфических скважин отсутствуют верхнеаптские–альбские и верхнемеловые отложения посткладчатого чехла, известные на арх. Новосибирские острова (см. выше).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

На востоке моря Лаптевых в 2021 г. впервые было пробурено шесть стратиграфических малоглубинных скважин, вскрывших от 100.0 до 199.5 м разреза, сложенного терригенными, преимущественно алевро-глинистыми, отложениями. Проводимые в настоящее время лабораторно-аналитические исследования и последующая корреляция результатов с имеющимися сейсморазведочными данными позволят в будущем существенно уточнить имеющиеся сейсмогеологические и бассейновые модели исследуемого региона. Полученные на сегодняшний день результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. По биостратиграфическим исследованиям пород керна наиболее древними из вскрытых скважинами являются деформированные нижнемеловые (верхнебарремские–нижнеаптские) толщи. Породы этого комплекса представлены алевро-глинистыми отложениями и являются самыми молодыми образованиями, вовлеченными в региональные позднемезозойские (позднеюрские–неокомские) деформации сжатия и, таким образом, в изученном стратиграфическом бурении районе входят в состав складчатого основания бассейна. На нижнемеловых породах со значительным перерывом и угловым несогласием залегает комплекс отложений чехла, датированный в интервале нижний палеоцен–плейстоцен.

2. Распространение позднемезозойского складчатого комплекса к северу от арх. Новосибирские острова впервые подтверждено прямыми геологическими данными. Уточнен нижний возрастной предел становления складчатого основания изученной акватории, соответствующий раннему апту. Полученные данные свидетельствуют о завершении финальной фазы коллизионных процессов в Новосибирско-Чукотской складчато-надвиговой системе в начале апта, что хорошо соотносится с апт-альбским воз-

растом постскладчатых гранитов этой системы [Катков и др., 2007; Лучицкая, Соколов, 2021].

3. По уточненным результатам стратиграфической привязки отражающих горизонтов и материалов интерпретации сейсморазведки 2D фазы растяжения были датированы прямыми биостратиграфическими методами. В результате синрифтовый сеймо-стратиграфический комплекс первой, наиболее древней фазы рифтогенеза датирован палеоценом. Пострифтовый комплекс, характеризующийся затуханием растяжения, датирован эоценом. Как на сейсмических разрезах, так и в обнажениях на островах Котельный, Новая Сибирь и Бельковский имеются многочисленные свидетельства существования второй молодой фазы растяжения в пределах восточной ветви Лаптевоморской рифтовой системы. Вторая фаза интенсивного растяжения проявилась в интервале мессинско-плиоценового времени.

4. В керне скважины SSDAN-1 существенные перерывы в осадконакоплении зафиксированы для хроностратиграфических интервалов большей части раннего–нижней части среднего эоцена и верхней части позднего олигоцена–нижней части раннего миоцена. Важно отметить при этом, что отсутствие угловых несогласий в разрезе палеогена указывает на то, что выявленные перерывы не связаны с деформациями. Их наличие обусловлено, по-видимому, высоким положением изученных разрезов относительно депоцентров осадконакопления в грабенах и связано, в том числе с эвстатическими колебаниями уровня моря.

5. Стратиграфическое бурение не показало присутствие в разрезе отложений древнее верхнего баррема–нижнего апта, что, очевидно, связано с ограничением по глубине применяемой методики мало-глубинного бурения [Колюбакин и др., 2023] и отсутствием в изучаемом районе доступных для бурения структур, сложенных более древними комплексами. Более древние осадочные формации, представляющие интерес для реконструкции геологической истории региона, такие как позднеюрско-берриасские турбидиты о. Столбовой, а также «глубокая толща» о. Котельный, пока не нашли своего сеймо-стратиграфического выражения. Не исключено, что волжско-готеривские отложения согласно подстилают баррем-аптские, поскольку на сейсмических разрезах не фиксируется угловых несогласий древнее подошвы палеоцена. Вместе с тем региональные сейсмические данные 2D не исключают возможность выделения более древних, чем датированные в стратиграфических скважинах ранним палеоценом, постскладчатых осадочных комплексов в более глубоко-погруженных западных частях лаптевоморского шельфа (апт-альбских и/или верхнемеловых?). Этот ключевой вопрос региональной геологии будет предметом отдельного комплексного исследования с учетом полученных данных бурения и детального сейс-

мо-стратиграфического расчленения осадочного чехла шельфа моря Лаптевых.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность руководителю буровых работ на научно-исследовательском судне «Бавенит» С.А. Гирвичу за успешное бурение мало-глубинных стратиграфических скважин и решение производственных задач.

ЛИТЕРАТУРА

- Аветисов Г.П. (2002).** О границе литосферных плит на шельфе моря Лаптевых // ДАН, т. 385, № 6, с. 793–796.
- Александрова Г.Н., Кузьмичев А.Б. (2011).** О возрасте палеогеновых отложений в лагуне Нерпалах (остров Котельный) по палинологическим данным // Проблемы современной палинологии. Материалы XIII Российской палинологической конференции. Сыктывкар, ИГ Коми НЦ УрО РАН, т. 2, с. 18–23.
- Баранов Б.В., Лобковский Л.И., Дозорова К.А., Цуканов Н.В. (2019).** Система разломов, контролирующая метановые силы на шельфе моря Лаптевых // ДАН, т. 486, № 3, с. 354–358, doi: [10.31857/S0869-56524863354-358](https://doi.org/10.31857/S0869-56524863354-358).
- Басилян А.Э., Никольский П.А. (2007).** Опорный разрез четвертичных отложений мыса Каменный (о. Новая Сибирь) // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода, № 67, с. 76–84.
- Богоявленский В.И., Богоявленский И.В. (2021).** Анализ состояния, перспектив и проблем освоения ресурсов углеводородов и угля в Арктике в связи с экономическими, геополитическими и технологическими реалиями // Научные труды Вольного экономического общества России, т. 228, № 2, с. 154–180, doi: [10.38197/2072-2060-2021-228-2-154-180](https://doi.org/10.38197/2072-2060-2021-228-2-154-180).
- Бондаренко Г.Е., Соловьев А.В., Тучкова М.И., Гарвер Д.И., Подгорный И.И. (2002).** Первые результаты трекового датирования детритовых цирконов из мезозойских флишевых отложений Южно-Анхойской сутуры (Западная Чукотка, Северо-Восток Азии) // ДАН, т. 387, № 5, с. 662–667.
- Бургуто А.Г., Дорощев В.К., Рекант П.В., Шкарубо С.И. (2016).** Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Лаптево-Сибироморская. Лист S-53 – о. Столбовой, S-54 – Ляховские о-ва. Объяснительная записка. Санкт-Петербург, Картографическая фабрика ВСЕГЕИ.
- Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Кулаков И.Ю. (2013).** Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика, т. 54, № 8, с. 1083–1107, EDN: [RAPIKT](https://doi.org/10.17353/2070-5379/10_2016).
- Виноградов В.А., Гусев Е.А., Рекант П.В., Пяткова М.Н. (2016).** Особенности формирования осадочного чехла Таймырско-Аляскинской области Арктики (с позиции структурных связей в системе шельф-океан) // Нефтегазовая геология. Теория и практика, т. 11, № 1, с. 7, doi: [10.17353/2070-5379/10_2016](https://doi.org/10.17353/2070-5379/10_2016).
- Волкова В.С., Архипов С.А., Бабушкин А.Е., Кулькова И.А., Гуськов С.А., Кузьмина О.Б., Левчук Л.К., Михайлова И.В., Сухорукова С.С. (2002).** Стратиграфия нефтегазосносных бассейнов Сибири. Кайнозой Западной Сибири. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 246 с.
- Голионко Б.Г., Басилян А.Э., Никольский П.А., Костылева В.В., Малышев Н.А., Вержбицкий В.Е., Обметко В.В., Бородулин А.А. (2019).** Складчато-надвиговые деформации о. Новая Сибирь (Новосибирские острова, Россия): возраст, морфология и генезис структур // Геотектоника, № 6, с. 46–64.

- Грамберг И.С., Деменницкая Р.М., Секретов С.Б. (1990). Система рифтогенных грабенов шельфа моря Лаптевых как недостающего звена рифтового пояса хребта Гаккеля – Момского рифта // Докл. АН СССР, т. 311, № 3, с. 689–694.
- Гриненко О.В., Жарикова Л.П., Фрадкина А.Ф. (1989). Палеоген и неоген Северо-Востока СССР. Якутск, ЯНЦ СО АН СССР, 184 с.
- Гриненко О.В., Сергеенко А.И., Белолобский И.Н. (1998). Палеоген и неоген Северо-Востока России. Часть I. Региональная стратиграфическая схема палеогеновых и неогеновых отложений Северо-Востока России и Объяснительная записка к ней. Якутск, ЯНЦ СО РАН, 68 с.
- Евдокимова Н.К., Харитонов Л.Я. (2018). Нефтегеологическое районирование и предпосылки нефтегазоносности Восточно-Арктического шельфа России // 70 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане. Сборник научных трудов, посвященный 70-летию юбилею НИИГА-ВНИИОкеангеология. Санкт-Петербург, Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга, с. 291–306.
- Евдокимова Н.К., Яшин Д.С., Ким Б.И. (2008). Углеродородный потенциал отложений осадочного чехла шельфов восточно-арктических морей России (Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского) // Геология нефти и газа, № 2, с. 3–12.
- Заварзина Г.А., Шкарубо С.И. (2012). Тектоника западной части шельфа моря Лаптевых // Нефтегазовая геология. Теория и практика, т. 7, № 3, с. 11.
- Заварзина Г.А., Шлыкова В.В., Шкарубо С.И., Поштацкая А.Г. (2014). Новые данные о тектонике Притаймырского шельфа моря Лаптевых // Разведка и охрана недр, № 4, с. 30–34.
- Зуева И.Н., Чалая О.Н., Глязнецова Ю.С., Лифшиц С.Х., Проконьев А.В., Ершова В.Б., Васильев Д.А., Худолей А.К. (2019). Геохимические особенности битумопроявлений в нижне-среднедевонских отложениях северо-западной части о. Котельный (архипелаг Новосибирские острова) // Георесурсы, т. 21, № 3, с. 31–38, doi: [10.18599/grs.2019.3.31-38](https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.31-38).
- Иванов В.Л. (1979). Оленекское месторождение битумов (геологическое строение и условия формирования). Ленинград, Недра, 104 с.
- Имаева Л.П., Имаев В.С., Мельникова В.И., Козьмин Б.М. (2016). Новейшие структуры и тектонические режимы напряженно-деформированного состояния земной коры северо-восточного сектора Российской Арктики // Геотектоника, № 6, с. 3–22, doi: [10.7868/S0016853X16060035](https://doi.org/10.7868/S0016853X16060035).
- Имаева Л.П., Гусев Г.С., Имаев В.С. (2019). Динамика рельефа и сейсмоструктурная активизация новейших структур дельты р. Лена // Геотектоника, № 5, с. 62–77, doi: [10.31857/S0016-853X2019562-77](https://doi.org/10.31857/S0016-853X2019562-77).
- Катков С.М., Стрикленд А., Миллер Э.Л., Торо Д. (2007). О возрасте гранитных интрузий Анойско-Чукотской складчатой системы // ДАН, т. 414, № 2, с. 219–222.
- Каширцев В.А., Конторович А.Э., Иванов В.Л., Сафронов А.Ф. (2010). Месторождения природных битумов на северо-востоке Сибирской платформы (Российский сектор Арктики) // Геология и геофизика, т. 51, № 1, с. 93–105, EDN: [KZLFZN](https://www.edn.ru/kzlfzn).
- Колобакин 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., Осипов С.В., Лакеев В.Г., Лукашёв Р.В. (2023). Технологические разработки геофизического сопровождения стратиграфического бурения в морях Российской Арктики // Нефтяное хозяйство, № 11, с. 6–11.
- Конторович В.А., Калинина Л.М., Калинин А.Ю., Соловьев М.В. (2019). Структурно-тектоническая характеристика и перспективы нефтегазоносности Анабаро-Хатангской седловины (Хатангский залив моря Лаптевых и прилегающие территории) // Нефтегазовая геология. Теория и практика, т. 14, № 3, с. 9, doi: [10.17353/2070-5379/24_2019](https://doi.org/10.17353/2070-5379/24_2019).
- Костылева В.В., Моисеев А.В., Шепетова Е.В., Базилян А.Э., Голюнок Б.Г., Никольский П.А., Хисамутдинова А.И., Малышев Н.А., Вержбицкий В.Е., Обметко В.В., Бородулин А.А. (2022). Результаты U–Pb датирования зерен детритового циркона из верхнемеловых отложений острова Новая Сибирь (Новосибирские острова, группа Анжу) // Литология и полезные ископаемые, № 3, с. 252–269, doi: [10.31857/S0024497X22030041](https://doi.org/10.31857/S0024497X22030041).
- Косьюк М.К., Бондаренко Н.С., Непомилуев В.Ф. (1985). Государственная геологическая карта СССР М-6 1:200 000 (серия Новосибирские острова). Листы Т-54-XXXI, XXXII, S-53-IV, V, VI; S-53-XI, XII; S-54-I, II, III; S-54-VII, VIII, IX, XIII, XIV, XV. Объяснительная записка. М., Изд-во «Севморгеология», 162 с.
- Крылов А.А., Лобковский Л.И., Рукавишников Д.Д., Баранов Б.В., Ковачев С.А., Дозорова К.А., Цуканов Н.В., Семилетов И.П. (2022). Новые данные о сейсмоструктурной тектонике моря Лаптевых по наблюдениям донных сейсмостанций // Докл. РАН. Науки о Земле, т. 507, № 1, с. 98–103, doi: [10.31857/S2686739722601582](https://doi.org/10.31857/S2686739722601582).
- Кузьмичев А.Б., Захаров В.А., Данукалова М.К. (2009а). Новые данные о стратиграфии и условиях формирования верхнеюрских и нижнемеловых отложений о. Столбовой (Новосибирские острова) // Стратиграфия. Геологическая корреляция, т. 17, № 4, с. 55–74.
- Кузьмичев А.Б., Александрова Г.Н., Герман А.Б. (2009б). Апт-альбские угленосные отложения на о. Котельный (Новосибирские острова): новые данные о строении разреза и игомбритовом вулканизме // Стратиграфия. Геологическая корреляция, т. 17, № 5, с. 69–94.
- Кузьмичев А.Б., Александрова Г.Н., Герман А.Б., Данукалова М.К., Симакова А.Н. (2013). Палеоген-неогеновые отложения острова Бельковский (Новосибирские острова): к характеристике осадочного чехла в восточной части шельфа моря Лаптевых // Стратиграфия. Геологическая корреляция, т. 21, № 4, с. 91–116, doi: [10.7868/S0869592X13040054](https://doi.org/10.7868/S0869592X13040054).
- Кузьмичев А.Б., Данукалова М.К., Александрова Г.Н., Захаров В.А., Герман А.Б., Никитенко Б.Л., Хубанов В.Б., Коростылев Е.В. (2018). Туор-Юряхский разрез «среднего» мела на острове Котельный (Новосибирские острова): как выглядит на суше предполагаемое основание осадочного чехла моря Лаптевых? // Стратиграфия. Геологическая корреляция, т. 26, № 4, с. 86–115, doi: [10.7868/S0869592X18040051](https://doi.org/10.7868/S0869592X18040051).
- Лобковский Л.И., Никифоров С.Л., Дмитриевский Н.Н., Либина Н.В., Семилетов И.П., Ананьев Р.А., Мелузов А.А., Росляков А.Г. (2015). О процессах газовой выделении и деградации подводных многолетнемерзлых пород на шельфе моря Лаптевых // Океанология, т. 55, № 2, с. 312–320, doi: [10.7868/S0030157415010128](https://doi.org/10.7868/S0030157415010128).
- Лучицкая М.В., Соколов С.Д. (2021). Этапы гранитоидного магматизма и формирование континентальной коры Восточной Арктики // Геотектоника, № 5, с. 73–97, doi: [10.31857/S0016853X21050040](https://doi.org/10.31857/S0016853X21050040).
- Малышев Н.А., Вержбицкий В.Е., Скарятин М.В., Балагуров М.Д., Илюшин Д.В., Колобакин 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. (2023). Стратиграфическое бурение на севере Карского моря: первый опыт реализации проекта и предварительные результаты // Геология и геофизика, т. 64, № 3, с. 311–326, doi: [10.15372/GiG2022131](https://doi.org/10.15372/GiG2022131), EDN: [ONERRG](https://www.edn.ru/onerrg).
- Никитенко Б.Л., Девятков В.П., Лебедева Н.К., Басов В.А., Горячева А.А., Пешевицкая Е.Б., Глинских Л.А. (2017). Стратиграфия юры и мела архипелага Новосибирского

- острова (море Лаптевых и Восточно-Сибирское море). Фациальное районирование и литостратиграфия // Геология и геофизика, т. 58, № 12, с. 1867–1885, doi: [10.15372/GiG20171203](https://doi.org/10.15372/GiG20171203), EDN: ZXOKWP.
- Никитенко Б.Л., Девятков В.П., Лебедева Н.К., Басов В.А., Фурсенко Е.А., Горячева А.А., Пешевицкая Е.Б., Глинских Л.А., Хафаева С.Н. (2018).** Биостратиграфия и особенности геохимии органического вещества юры и мела архипелага Новосибирские острова (Российская Арктика) // Геология и геофизика, т. 59, № 2, с. 211–230, doi: [10.15372/GiG20180206](https://doi.org/10.15372/GiG20180206), EDN: YQNEUA.
- Никишин А.М., Малышев Н.А., Петров Е.И. (2020).** Основные проблемы строения и истории геологического развития Арктического океана // Вестник РАН, т. 90, № 5, с. 434–446, doi: [10.31857/S0869587320050072](https://doi.org/10.31857/S0869587320050072).
- Никишин А.М., Петров Е.И., Старцева К.Ф., Родина Е.А., Посаментьер Х., Фулджер Д., Глузов 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. (2022).** Сейсмостратиграфия, палеогеография и палеотектоника Арктического глубоководного бассейна и его российских шельфов // Труды Геологического института. М., ГИН РАН, вып. 632, с. 1–136, doi: [10.54896/00023272_2022_632_1](https://doi.org/10.54896/00023272_2022_632_1).
- Панова Л.А. (1971).** Оligоцен Западно-Сибирской низменности // Кайнозойские флоры Сибири по палинологическим данным. М., Наука, с. 40–51.
- Петров О.В., Никишин А.М., Петров Е.И., Татаринцов В.Ю., Кашубин С.Н., 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. (2023).** Результаты стратиграфического бурения в Восточно-Сибирском море с целью геологического изучения зоны сочленения структур континентального шельфа и глубоководных акваторий Северного Ледовитого океана // Докл. РАН. Науки о Земле, т. 512, № 2, с. 261–271, doi: [10.31857/S268673972360100X](https://doi.org/10.31857/S268673972360100X).
- Пискарев А.Л., Аветисов Г.П., Киреев А.А., Казанин Г.С., Поселов В.А., Савин В.А., Смирнов О.Е., Элькина Д.В. (2018).** Строение зоны перехода шельф моря Лаптевых–Евразийский бассейн (Северный Ледовитый океан) // Геотектоника, № 6, с. 3–24, doi: [10.1134/S0016853X18060061](https://doi.org/10.1134/S0016853X18060061).
- Практическая палинostrатиграфия (1990).** Под ред. М.В. Ошурковой, Л.А. Пановой, Г.М. Романовской. Л., Недра, 348 с.
- Решения Третьего межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и мезозою Северо-Востока России. (2009).** Под ред. Т.Н. Корень, Г.В. Котляр. СПб., ВСЕГЕИ, 267 с.
- Рубан А.С., Рудмин М.А., Мазуров А.К., Милевский Я.В., Семилетов И.П., Гершелис Е.В., Дударев О.В. (2021).** Геохимические особенности донных осадков в областях разгрузки метан-содержащих флюидов на внешнем шельфе моря Лаптевых // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов, т. 332, № 12, с. 76–89, doi: [10.18799/24131830/2021/12/3374](https://doi.org/10.18799/24131830/2021/12/3374).
- Сафронов А.Ф. (2013).** Природные битумы восточной части Сибирской платформы – потенциальный объект добычи углеводородного сырья // Наука и образование, т. 71, № 3, с. 86–89.
- Сергиенко В.И., Лобковский Л.И., Семилетов И.П., Дударев О.В., Дмитревский Н.Н., Шахова Н.Е., Романовский Н.Н., Космач Д.А., Никольский Д.Н., Никифоров С.Л., Саломатин А.С., Ананьев Р.А., Росляков А.Г., Салюк А.Н., Карнаух В.В., Черных Д.Б., Тумской В.Е., Юсупов В.И., Куриленко А.В., Чувилин Е.М., Буханов В.А. (2012).** Деградация подводной мерзлоты и разрушение гидратов шельфа морей Восточной Арктики как возможная причина «метановой катастрофы»: некоторые результаты комплексных исследований 2011 года // ДАН, т. 446, № 3, с. 330–335.
- Соколов С.Д., Лобковский Л.И., Верниковский В.А., Тучкова М.И., Сорохтин Н.О., Кононов М.В. (2022).** Тектоника и геодинамика Восточной Арктики в мезозое // Геология и геофизика, т. 63, № 4, с. 389–409, doi: [10.15372/GiG2021188](https://doi.org/10.15372/GiG2021188), EDN: OWXXBP.
- Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). (2001).** Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. М., МАИК «Наука/Интерпериодика», 571 с.
- Труфанов Г.В., Вакуленко А.С. (1978).** Эоценовые угленосные отложения на Новосибирских островах // Геология и геофизика, № 4, с. 135–137.
- Труфанов Г.В., Белоусов К.Н., Вакуленко А.С. (1979).** Материалы к стратиграфии кайнозойских отложений Новосибирского архипелага // Континентальные третичные толщи Северо-Востока Азии. Новосибирск, Наука, с. 30–40.
- Труфанов Г.В., Бондаренко Н.М., Абрамова Л.Н. (1979).** Верхнемеловые отложения островов Анжу Новосибирского архипелага // Верхний палеозой и мезозой островов и побережья Арктических морей СССР. Л., НИИГА, с. 121–125.
- Труфанов Г.В., Белоусов К.Н., Непомилуев В.Ф. (1986).** Государственная геологическая карта СССР м-ба 1:200 000. Серия Новосибирские острова. Листы Т-54-XXXIV, XXXV, XXXVI; Т56-XXXIII; S-54-IV, V, VI, X, XI, XII; S-55-I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII; S-56-III, VII. Объяснительная записка. М., Изд-во «Севморгеология», 106 с.
- Фрадкина А.Ф. (1995).** Палинostrатиграфия палеогеновых и неогеновых отложений Северо-Востока России. Новосибирск, ОИГГМ СО РАН, 82 с.
- Фролов С.В., Коробова Н.И., Бакай Е.А., Курдина Н.С. (2017).** Углеводородные системы и перспективы нефтегазоносности Анабаро-Ленского прогиба // Георесурсы, Спецвыпуск, с. 173–185, doi: [10.18599/grs.19.18](https://doi.org/10.18599/grs.19.18).
- Черных А.А., Крылов А.А. (2017).** Длительность, причины и геодинамическое значение среднекайнозойского перерыва в осадконакоплении в приполюсной части хребта Ломоносова (по материалам бурения IODP-302-ACEX) // Океанология, т. 57, № 5, с. 745–756, doi: [10.7868/S0030157417050094](https://doi.org/10.7868/S0030157417050094).
- Шельфовые осадочные бассейны Российской Арктики: геология, геоэкология, минерально-сырьевой потенциал. (2020).** Под ред. Г.С. Казанина. Мурманск, СПб, Реноме, 544 с.
- Шкарубо С.И., Заварзина Г.А. (2011).** Стратиграфия и характеристика сейсмических комплексов осадочного чехла западной части шельфа моря Лаптевых // Нефтегазовая геология. Теория и практика, т. 6, № 2, с. 5.
- Шкарубо С.И., Заварзина Г.А., Зуйкова О.Н. (2014).** Результаты современного этапа изучения Лаптевоморского шельфа: от гипотез к новым фактам и проблемам // Разведка и охрана недр, № 4, с. 23–30.
- Юсупов В.И., Салюк А.Н., Карнаух В.Н., Семилетов И.П., Шахова Н.Е. (2010).** Обнаружение областей пузырьковой разгрузки метана на шельфе моря Лаптевых в Восточной Арктике // ДАН, т. 430, № 6, с. 820–823.
- Яшин Д.С., Ким Б.И. (2007).** Геохимические признаки нефтегазоносности Восточно-Арктического шельфа России // Геология нефти и газа, № 4, с. 25–37.
- Århus N. (1991).** Dinoflagellate cyst stratigraphy of some Aptian and Albian sections from North Greenland, southeastern Spitsbergen and the Barents Sea // Cretaceous Res., v. 12 (3), p. 209–225, doi: [10.1016/0195-6671\(91\)90035-B](https://doi.org/10.1016/0195-6671(91)90035-B).
- Backman J., Moran K., Mayer L.A., IODP Expedition 302 Scientists (2006).** Expedition 302 summary // Proceedings of the IODP, v. 302, 22 p.
- Backman J., Jakobsson M., Frank M., Sangiorgi F., Brinkhuis H., Stickley C., O'Regan M., Løvlie R., Pälike H., Spofforth D., Gattaceca J., Moran K., King J., Heil C. (2008).** Age model and

- core-seismic integration for the Cenozoic Arctic Coring Expedition sediments from the Lomonosov Ridge // *Paleoceanography*, v. 23 (1), PA1S03, doi: [10.1029/2007PA001476](https://doi.org/10.1029/2007PA001476).
- Bondarenko O.V., Utescher T. (2022).** Quantitative dynamics of the early Pliocene climate and vegetation in the Lena River Delta (northern Yakutia, Eastern Siberia) // *Bot. Pac.*, v. 11 (2), 3–17, doi: [10.17581/bp.2022.11212](https://doi.org/10.17581/bp.2022.11212).
- Brideaux W.W. (1977).** Taxonomy of Upper Jurassic – Lower Cretaceous microplankton from the Richardson Mountains, District of Mackenzie, Canada // *Geol. Surv. Can. Bull.*, No. 281, p. 1–89, doi: [10.4095/102868](https://doi.org/10.4095/102868).
- Drachev S.S., Shkarubo S.I. (2017).** Tectonics of the Laptev Shelf, Siberian Arctic // *Geol. Soc., London, Spec. Publ.*, v. 460 (1), p. 263–283, doi: [10.1144/SP460.15](https://doi.org/10.1144/SP460.15).
- Drachev S.S., Savostin L.A., Groshev V.G., Bruni I.E. (1998).** Structure and geology of the continental shelf of the Laptev Sea, Eastern Russian Arctic // *Tectonophysics*, v. 298 (4), p. 357–393, doi: [10.1016/S0040-1951\(98\)00159-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00159-0).
- Drachev S., Malyshev N., Nikishin A. (2010).** Tectonic history and petroleum geology of the Russian Arctic Shelves: an overview // *Geol. Soc., London, Pet. Geol. Conf. Ser.*, v. 7, p. 591–619, doi: [10.1144/0070591](https://doi.org/10.1144/0070591).
- Ershova V., Drachev S., Prokopiev A., Khudoley A., Vasiliev D., Aleksandrova G. (2023).** Cenozoic deposits of western Kotel'nyi Island (New Siberian Islands): key insights into the tectonic evolution of the Laptev Sea // *Int. Geol. Rev.*, v. 65 (10), p. 1664–1681, doi: [10.1080/00206814.2022.2103846](https://doi.org/10.1080/00206814.2022.2103846).
- Franke D., Hinz K. (2009).** Geology of the Shelves surrounding the New Siberian Islands, Russian Arctic // *Stephan Mueller Spec. Publ. Ser.*, v. 4, p. 35–44, doi: [10.5194/smsps-4-35-2009](https://doi.org/10.5194/smsps-4-35-2009).
- Franke D., Hinz K., Block M., Drachev S., Neben S., Kos'ko M., Reichert C., Roeser H. (2000).** Tectonic of the Laptev Sea Region in North-Eastern Siberia // *Polarforschung*, v. 68 (1), p. 51–58.
- Franke D., Hinz K., Oncken O. (2001).** The Laptev Sea Rift // *Mar. Pet. Geol.*, v. 18 (10), p. 1083–1127, doi: [10.1016/S0264-8172\(01\)00041-1](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(01)00041-1).
- Gaina C., Nikishin A.M., Petrov E.I. (2015).** Ultraslow spreading, ridge relocation and compressional events in the East Arctic region: A link to the Eurekan orogeny? // *Arktos*, v. 1 (1), 16, doi: [10.1007/s41063-015-0006-8](https://doi.org/10.1007/s41063-015-0006-8).
- Galloway J.M., Fensome R.A., Swindles G.T., Hadlari T., Fath J., Schröder-Adams C., Herrle J.O., Pugh A. (2022).** Exploring the role of High Arctic Large Igneous Province volcanism on Early Cretaceous Arctic forests // *Cretaceous Res.*, v. 129 (22–32), 105022, doi: [10.1016/j.cretres.2021.105022](https://doi.org/10.1016/j.cretres.2021.105022).
- Grachev A.F. (2003).** The Arctic rift system and the boundary between the Eurasian and North American lithospheric plates: New insight to plate tectonic theory // *Russ. J. Earth Sci.*, v. 5 (5), p. 307–345, doi: [10.2205/2003ES000135](https://doi.org/10.2205/2003ES000135).
- Harrison J.C., Mayr U., McNeil D.H., Sweet A.R., McIntyre D.J., Eberle J.J., Harington C.R., Chalmers J.A., Dam G., Nøhr-Hansen H. (1999).** Correlation of Cenozoic sequences of the Canadian Arctic region and Greenland; implications for the tectonic history of northern North America // *Bull. Can. Pet. Geol.*, v. 47 (3), p. 223–254, doi: [10.35767/gscpgbull.47.3.223](https://doi.org/10.35767/gscpgbull.47.3.223).
- Kaminski M.A., Silye L., Kender S. (2009).** Miocene deep-water agglutinated foraminifera from the Lomonosov Ridge and the opening of the Fram Strait // *Micropaleontology*, v. 55 (2–3), p. 117–135, doi: [10.2113/gsmicropal.51.5.373](https://doi.org/10.2113/gsmicropal.51.5.373).
- Khudoley A.K., Frolov S.V., Akhmanov G.G., Bakay E.A., Drachev S.S., Egorov A.Y., Ershova V.B., Korobova N.I., Shevchuk N.S., Rogov M.A. (2022).** Anabar–Lena Composite Tectono-Sedimentary Element, northern East Siberia // *Geol. Soc., London, Mem.*, v. 57 (1), doi: [10.1144/M57-2021-29](https://doi.org/10.1144/M57-2021-29).
- King C. (2016).** Biostratigraphy, in: Gale A.S., Barry T.L. (Eds.), *A Revised Correlation of Tertiary Rocks in the British Isles and Adjacent Areas of NW Europe*. *Geol. Soc., London, Spec. Rep.*, v. 27, p. 19–57, doi: [10.1144/SR27.3](https://doi.org/10.1144/SR27.3).
- Kos'ko M., Korago E. (2009).** Review of geology of the New Siberian Islands between the Laptev and the East Siberian Seas, North East Russia // *Stephan Mueller Spec. Publ. Ser.*, v. 4, p. 45–64, doi: [10.5194/smsps-4-45-2009](https://doi.org/10.5194/smsps-4-45-2009).
- Kos'ko M.K., Trufanov G.V. (2002).** Middle Cretaceous to Eocene Sequences on the New Siberian Islands: an approach to interpret offshore seismic // *Mar. Pet. Geol.*, v. 19 (7), p. 901–919, doi: [10.1016/S0264-8172\(02\)00057-0](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(02)00057-0).
- Mazur S., Campbell S., Green C., Bouatmani R. (2015).** Extension across the Laptev Sea continental rifts constrained by gravity modeling // *Tectonics*, v. 34 (3), p. 435–448, doi: [10.1002/2014TC003590](https://doi.org/10.1002/2014TC003590).
- McNeil D.H., Neville L.A. (2018).** On a grain of sand – a microhabitat for the opportunistic agglutinated foraminifera *Hemisphaerammina apta* n. sp., from the early Eocene Arctic Ocean // *J. Micropalaeontol.*, v. 37 (1), p. 295–303, doi: [10.5194/jm-37-295-2018](https://doi.org/10.5194/jm-37-295-2018).
- McNeil D.H., Parsons M.G. (2013).** The Paleocene-Eocene thermal maximum in the Arctic Beaufort-Mackenzie Basin – Palynomorphs, carbon isotopes and benthic foraminiferal turnover // *Bull. Can. Pet. Geol.*, v. 61 (2), p. 157–186, doi: [10.2113/gscpgbull.61.2.157](https://doi.org/10.2113/gscpgbull.61.2.157).
- Nikishin A.M., Malyshev N.A., Petrov E.I. (2014).** Geological Structure and History of the Arctic Ocean. EAGE Publications bv, 88 p.
- Nikishin A.M., Petrov E.I., Malyshev N.A., Ershova V.P. (2017).** Rift systems of the Russian Eastern Arctic shelf and Arctic deep water basins: link between geological history and geodynamics // *Geodyn. Tectonophys.*, v. 8 (1), p. 11–43, doi: [10.5800/GT-2017-8-1-0231](https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-1-0231).
- Nikishin A.M., Startseva K.F., Verzhbitsky V.E., Cloetingh S., Malyshev N.A., Petrov E.I., Posamentier H., Freiman S.I., Lineva M.D., Zhukov N.N. (2019).** Sedimentary basins of the East Siberian sea and the Chukchi sea region and the adjacent area of Amerasia basin: seismic stratigraphy and stages of geological history // *Geotectonics*, v. 53 (6), p. 635–657, doi: [10.1134/S0016852119060104](https://doi.org/10.1134/S0016852119060104).
- Nikishin A.M., Petrov E.I., Cloetingh S., Freiman S.I., Malyshev N.A., Morozov A.F., Posamentier H.W., Verzhbitsky V.E., Zhukov N.N., Startseva K. (2021).** Arctic Ocean Mega Project: Paper 3 – Mesozoic to Cenozoic geological evolution // *Earth Sci. Rev.*, v. 217, p. 103034, doi: [10.1016/j.earscirev.2019.103034](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103034).
- Nøhr-Hansen H. (1993).** Dinoflagellate cyst stratigraphy of the Barremian to Albian, Lower Cretaceous, North-East Greenland // *Bull. Grøn. Geol. Unders.*, v. 166, 171 p.
- Nøhr-Hansen H., McIntyre D.J. (1998).** Upper Barremian to upper Albian (Lower Cretaceous) dinoflagellate cyst assemblages, Canadian Arctic Archipelago // *Palynology*, v. 22 (1), p. 143–166, doi: [10.1080/01916122.1998.9989506](https://doi.org/10.1080/01916122.1998.9989506).
- Nøhr-Hansen H., Piasecki S., Alsen P. (2019).** A Cretaceous dinoflagellate cyst zonation for NE Greenland // *Geol. Mag.*, v. 157 (10), p. 1658–1692, doi: [10.1017/S0016756819001043](https://doi.org/10.1017/S0016756819001043).
- Norris D.K. (1997).** The geology, mineral and hydrocarbon potential of Northern Yukon Territory and Northwestern District of Mackenzie. *Geol. Surv. Can., Bull.* 523, 79 p.
- Norris G. (1986).** Systematic and stratigraphic palynology of Eocene to Pliocene strata in the Imperial Nuktak C-22 well, Mackenzie delta region, District of Mackenzie, Northwest Territories. *Geol. Surv. Can., Bull.* 340, 89 p., doi: [10.4095/120476](https://doi.org/10.4095/120476).
- Poirier A., Hillaire-Marcel C. (2011).** Improved Os-isotope stratigraphy of the Arctic Ocean // *Geophys. Res. Lett.*, v. 38 (14), L14607, doi: [10.1029/2011GL047953](https://doi.org/10.1029/2011GL047953).
- Prokopiev A., Ershova V., Anfinson O., Stockli D., Powell J., Khudoley A., Vasiliev D., Sobolev N., Petrov E. (2018).** Tectonics of the New Siberian Islands archipelago: Structural styles and low-temperature thermochronology // *J. Geodyn.*, v. 121, p. 155–184, doi: [10.1016/j.jog.2018.09.001](https://doi.org/10.1016/j.jog.2018.09.001).

- Ruban A., Rudmin M., Mazurov A., Chernykh D., Dudarev O., Semiletov I. (2022). Cold-seep carbonates of the Laptev Sea continental slope: Constraints from fluid sources and environment of formation // *Chem. Geol.*, v. 610, p. 121103, doi: [10.1016/j.chemgeo.2022.121103](https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2022.121103).
- Sangiorgi F., Brumsack H., Willard D.A., Schouten S., Stickley C.E., O'Regan M., Reichart G., Damsté J.S.S., Brinkhuis H. (2008). A 26 million year gap in the central Arctic record at the greenhouse-icehouse transition: Looking for clues // *Paleoceanography*, v. 23 (1), PA1S04, doi: [10.1029/2007PA001477](https://doi.org/10.1029/2007PA001477).
- Śliwińska K.K., Jelby M.E., Grundvåg S.A., Nøhr-Hansen H., Alsen P., Olausen S. (2020). Dinocyst stratigraphy of the Valanginian–Aptian Rurikfjellet and Helvetiafjellet formations on Spitsbergen, Arctic Norway // *Geol. Mag.*, v. 157, p. 1693–1714, doi: [10.1017/S0016756819001249](https://doi.org/10.1017/S0016756819001249).
- Sluijs A., Röhl U., Schouten S., Brumsack H., Sangiorgi F., Damsté J.S.S., Brinkhuis H. (2008). Arctic late Paleocene–early Eocene paleoenvironments with special emphasis on the Paleocene–Eocene thermal maximum (Lomonosov Ridge, Integrated Ocean Drilling Program Expedition 302) // *Paleoceanography*, v. 23 (1), PA1S11, doi: [10.1029/2007PA001495](https://doi.org/10.1029/2007PA001495).
- Sluijs A., Schouten S., Donders T.H., Schoon P.L., Röhl U., Reichart G.-J., Sangiorgi F., Kim J.-H., Damsté J.S.S., Brinkhuis H. (2009). Warm and wet conditions in the Arctic region during Eocene Thermal Maximum 2 // *Nat. Geosci.*, v. 2 (11), p. 777–780, doi: [10.1038/ngeo668](https://doi.org/10.1038/ngeo668).
- Smelror M. (2021). Palynostratigraphy, palynofacies, T-R cycles and paleoenvironments in the Middle Jurassic–Early Cretaceous Ramså Basin, Andøya, Northern Norway // *Geosciences*, v. 11 (9), 354, doi: [10.3390/geosciences11090354](https://doi.org/10.3390/geosciences11090354).
- Suan G., Popescu S.-M., Suc J.-P., Schnyder J., Fauquette S., Baudin F., Yoon D., Piepjohn K., Sobolev N.N., Labrousse L. (2017). Subtropical climate conditions and mangrove growth in Arctic Siberia during the early Eocene // *Geology*, v. 45 (6), p. 539–542, doi: [10.1130/G38547.1](https://doi.org/10.1130/G38547.1).
- Suc J.-P., Fauquette S., Popescu S.-M., Robin C. (2020). Subtropical mangrove and evergreen forest reveal Paleogene terrestrial climate and physiography at the North Pole // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 551, 109755, doi: [10.1016/j.palaeo.2020.109755](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.109755).
- Sudermann M., Galloway J.M., Greenwood D.R., West C.K., Reinhardt L. (2021). Palynostratigraphy of the lower Paleogene Margaret Formation at Stenkul Fiord, Ellesmere Island, Nunavut, Canada // *Palynology*, v. 45, p. 459–476, doi: [10.1080/01916122.2020.1861121](https://doi.org/10.1080/01916122.2020.1861121).
- Willard D.A., Donders T.H., Reichgelt T., Greenwood D.R., Sangiorgi F., Peterse F., Nierop K.G.J., Frieling J., Schouten S., Sluijs A. (2019). Arctic vegetation, temperature, and hydrology during Early Eocene transient global warming events // *Global Planet. Change*, v. 178, p. 139–152, doi: [10.1016/j.gloplacha.2019.04.012](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.04.012).