

УДК 550.8.01. 550.85

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2026-65-1-3-17

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ АРКТИЧЕСКОГО ОКЕАНА В МЕЗОЗОЕ И КАЙНОЗОЕ

Анатолий Михайлович Никишин¹✉, Ксения Федоровна Алёшина²,
Елизавета Андреевна Родина³, Владимир Евгеньевич Вержбицкий⁴,
Николай Александрович Малышев⁵, Евгений Игнатьевич Петров⁶,
Хенри Уильям Посаментьер⁷, Виктор Юрьевич Татаринов⁸,
Джиллиан Роуз Фоулджер⁹, Андрей Алексеевич Черных¹⁰,
Екатерина Романовна Чижова¹¹

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; amnikishin@gmail.com✉, <https://orcid.org/0000-0002-5375-6237>

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; kfstartseva@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-6261-4110>

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; rodina_liza@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3381-7326>

⁴ ПАО «НК «Роснефть», Москва, Россия; v_verzhbitskiy@rosneft.ru

⁵ ПАО «НК «Роснефть», Москва, Россия; n_malyshev@rosneft.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; ep4813102@gmail.com

⁷ Посаментьер Геоссаенс, Бодега Бэй, США; hposamen1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6891-631X>

⁸ Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва, Россия; vtatarinov@rosnedra.gov.ru

⁹ Университет Дарема, Дарем, Великобритания; gillian.foulger@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6943-6214>

¹⁰ ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, Россия; a.a.chernykh@vniio.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5370-8593>

¹¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; chizhova_er@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-6289-9042>

Аннотация. В геологической истории Арктического океана выделены следующие этапы развития. (1) Баррем (апт)-альб (~125–100 Ма). Формирование вулcano-тектонического поднятия Альфа-Менделеева и сопряженных бассейнов типа Подводников, Макарова, Стефанссона и др. Характерны магматические комплексы типа Seaward Dipping Reflectors (SDR) как для поднятия Альфа-Менделеева, так и для бассейнов. Было сильное растяжение континентальной коры, но разрыва ее не произошло. Тектоника была во внутриплитном режиме. Геодинамика объясняется наличием горячего вещества в мантии. (2) Поздний мел (100–70 Ма). Основная фаза раскрытия Канадского бассейна. Бассейн раскрывался как задуговой бассейн для Тихоокеанской зоны субдукции. Для пассивной окраины Канадского бассейна в районе склона хребта Нортвинд по сейсмическим данным выделены магматические комплексы типа SDR с вероятным возрастом около 125–100 Ма. (3) Поздний мел-палеоцен (~70–56 Ма). Внутриплитный рифтинг, который охватил часть района Канадского бассейна, бассейн Стефанссона, район моря Лаптевых и область будущего Евразийского бассейна. На огромной территории формировалось большое количество сбросов. В Американо-евразийском бассейне мы выделяем рифтовую систему Нортвинд-Север (от Чукотского Бордерленда и до Север Спур на Канадской окраине). (4) Эоцен-квартер (56–0 Ма). Поэтапное раскрытие Евразийского бассейна. При этом, в основном между 45 и 34 Ма формировались многочисленные сбросы в районе поднятия Альфа-Менделеева. Многие сбросы формировались и в неогене.

Ключевые слова: Арктика, поднятие Менделеева, хребет Альфа, Канадский бассейн, SDR, Евразийский бассейн, геологическая история, магматизм, рифтинг

Для цитирования: Никишин А.М., Алёшина К.Ф., Родина Е.А., Вержбицкий В.Е., Малышев Н.А., Петров Е.И., Посаментьер Х.У., Татаринов В.Ю., Фоулджер Дж.Р., Черных А.А., Чижова Е.Р. Геологическая история Арктического океана в мезозое и кайнозое // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2026. № 1. С. 3–17.

THE GEOLOGICAL HISTORY OF THE ARCTIC OCEAN IN THE MESOZOIC AND CENOZOIC

Anatoly M. Nikishin¹✉, Ksenia F. Aleshina², Elizaveta A. Rodina³,
Vladimir E. Verzhbitskiy⁴, Nikolay A. Malyshev⁵, Eugene I. Petrov⁶,
Henry W. Posamentier⁷, Viktor Yu. Tatarinov⁸, Gillian R. Foulger⁹,
Andrey A. Chernykh¹⁰, Ekaterina R. Chizhova¹¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; amnikishin@gmail.com✉, <https://orcid.org/0000-0002-5375-6237>

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; kfstartseva@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-6261-4110>

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; rodina_liza@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3381-7326>

⁴ Rosneft Oil Company, Moscow, Russia; v_verzhbitskiy@rosneft.ru

⁵ Rosneft Oil Company, Moscow, Russia; n_malyshv@rosneft.ru

⁶ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ep4813102@gmail.com

⁷ LLC Geosciences, Bodega Bay, USA; hposamen1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6891-631X>

⁸ Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystallochemistry of Rare Elements, Moscow, Russia; vtatarinov@rosnedra.gov.ru

⁹ Durham University, Durham, U.K.; g.r.foulger@durham.ac.uk, <https://orcid.org/0000-0001-6943-6214>

¹⁰ VNIIOkeangeologiya, St. Petersburg, Russia; a.a.chernykh@vniio.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5370-8593>

¹¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; chizhova_er@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-6289-9042>

Abstract: The following stages of development have been identified in the geological history of the Arctic Ocean. (1) Barremian (Aptian)-Albian (~125–100 Ma). Formation of the Alpha-Mendeleev volcanic-tectonic rise and associated basins such as Podvodnikov, Makarov, Stefansson, etc. Magmatic complexes such as Seaward Dipping Reflectors (SDR) are characteristic of both the Alpha-Mendeleev Rise and the basins. There was strong stretching of the continental crust, but no rupture occurred. Tectonics were in an intraplate regime. Geodynamics can be explained by the presence of hot material in the mantle. (2) Late Cretaceous (100–70 Ma). The main phase of the Canada Basin opening. The basin opened as a back-arc basin for the Pacific subduction zone. The passive margin of the Canada Basin for the Northwind Ridge slope is characterized by SDR-type magmatic complexes with a probable age of about 125–100 Ma. (3) Late Cretaceous-Paleocene (~70–56 Ma). Intraplate rifting, which covered part of the Canada Basin, the Stefansson Basin, the Laptev Sea region, and the area of the future Eurasia Basin. A large number of faults formed across this vast territory. In the Amerasia Basin, we distinguish the Northwind-Sever rift system (from the Chukotka Borderland to Sever Spur on the Canada margin). (4) Eocene-Quaternary (56–0 Ma). Gradual opening of the Eurasia Basin. At the same time, between 45 and 34 Ma, numerous faults formed in the area of the Alpha-Mendeleev Rise. Many faults also formed in the Neogene.

Keywords: Arctic, Mendeleev Rise, Alpha Ridge, Canada Basin, SDR, Eurasia Basin, geological history, magmatism, rifting

For citation: Nikishin A.M., Aleshina K.F., Rodina E.A., Verzhbitsky V.E., Malyshv N.A., Petrov E.I., Posamentier H.W., Tatarinov V.Yu., Foulger G.R., Chernykh A.A., Chizhova E.R. The geological history of the Arctic Ocean in the Mesozoic and Cenozoic. *Moscow University Geol. Bull.* 2026; 1: 3–17. (In Russ.).

Введение. Геология Северного Ледовитого (Арктического) океана изучается давно специалистами всех приарктических и других государств. Неоценимый вклад в изучение геологии Арктики внесли многие советские исследователи. В 1982 г. была принята Конвенция ООН по морскому праву. С этого времени все прибрежные страны должны были обосновать внешние границы континентального шельфа согласно принятым соглашениям. Интенсивность изучения Арктического океана также существенно возросла. В России с 2005 г. стал официально действовать Арктический Мега-Проект, финансируемый государством. Детали этого проекта описаны в ряде публикаций [Piskarev et al., 2019; Petrov, Smelror, 2021; Nikishin et al., 2021a,b,c; Никишин и др., 2022]. В частности, в его рамках был получен большой объем сейсмических, гравиметрических и магнитометрических данных. Сейсморазведка выполнялась в разных модификациях, что позволило изучить детально верхнюю часть осадочного чехла, весь осадочный чехол и глубинные горизонты земной коры. Полученный объем информации до сих пор еще не проанализирован в полной мере. Кроме этого, широко использовались результаты драгирования дна океана и других специальных методов подводного отбора образцов пород [Skolotnev et al., 2019, 2023; Kossouvaia et al., 2018; Petrov, Smelror, 2021]. Огромное значение имело взятие образцов коренных пород на склонах поднятия Менделеева. Эти работы проводились с помощью специальных подводных аппаратов [Skolotnev et al., 2019, 2023; Nikishin et al., 2021a]. В последние годы много новой геолого-геофизической информации для Арктического океана было также получено специалистами

из Германии, США, Канады, Дании, Норвегии, Китая и других стран. Большая часть канадско-американских данных в цифровом виде стали открытыми, и мы их широко используем (например, [Shimeld et al., 2021]).

Систематические исследования Арктического океана проводятся с 1950-х годов. Значительный вклад в изучение бассейна внесли специалисты из России, Германии, Дании, Канады, США, Норвегии, Китая, Швеции и других стран. Общие представления о геологическом строении Арктического океана примерно совпадает среди исследователей из разных стран, однако многие вопросы остаются дискуссионными.

В последние годы нами была опубликована серия статей и монография по геологии района Арктического океана [Nikishin et al., 2014; Nikishin et al., 2018; Nikishin et al., 2021a,b,c; Nikishin et al., 2023, 2024, 2025; Posamentier et al., 2025; Никишин и др., 2022]. В данной статье мы суммируем результаты всех наших работ с целью выделения основных этапов геологической истории Арктического океана в мезозое и кайнозое. Основная аргументация для этого и многочисленные ссылки приведены в наших предыдущих публикациях. Здесь мы ограничимся в количестве ссылок и в детальной аргументации.

Краткий геологический обзор. В Арктическом океане традиционно выделяется два основных относительно глубоководных бассейна: Амеразийский и Евразийский (рис. 1). Эти бассейна разделены подводным хребтом Ломоносова. Амеразийский бассейн имеет сложную морфологию. В его южной частью располагается Канадский бассейн с относительно плоским дном с глубиной океана более 3 км.

типичны классические комплексы типа SDRs, сложенные в основном базальтами. Для центральных частей бассейнов типична горизонтальная слоистость в базальтовом чехле. Базальтовые комплексы выделяются по сейсмическим скоростям (например [Funck, Shimeld, 2023]). Только для бассейна Наутилус имеются изотопные возрасты для драгированных базальтов. Это около 118–112, 105–100 и 90–70 Ма (млн лет назад) [Mukasa et al., 2020]. Мы предполагаем, что все названные бассейны имеют возраст примерно такого значения. В целом намечается, что поднятие Альфа-Менделеева формировалось синхронно с сопряженными бассейнами около 125–100 Ма с локальным продолжением магматизма до 90–80 Ма [Nikishin et al., 2023, 2025].

Канадский бассейн является одним из наименее изученных и понятных бассейнов Арктики. Ширина бассейна между континентальными склонами составляет около 1000–600 км, длина вдоль оси около 900 км, а глубина достигает 3,5–3,8 км. Согласно данным по магнитным и гравитационным аномалиям вдоль оси бассейна прослеживается отмерший срединно-океанический рифт мелового возраста. Для центральной части Канадского бассейна обосновано наличие океанической коры. Для более периферических частей бассейна обосновывается наличие сильно утоненной континентальной и переходной (transitional) коры [Chian et al., 2016; Mosher, Hutchinson, 2019; Hutchinson et al., 2025]. Возраст Канадского бассейна остается предметом дискуссий. Обсуждаются варианты от поздней юры до позднего мела.

Со стороны Чукотского моря у края Канадского бассейна находится подводное поднятие Чукотский Бордерленд (Чукотское плато и хребет Нортвинд). Общеизвестно, что это поднятие является относительно погруженной террасой с континентальной корой позднекембрийско-раннепалеозойского возраста.

Евразийский бассейн является относительно хорошо изученной структурой Арктического океана. По его оси проходит спрединговый хребет Гаккеля с четко выраженной осевой рифтовой долиной. Евразийский бассейн является продолжением Атлантического океана. Он имеет океаническую кору с возрастными от примерно 56 Ма до современного. Примерно 45 млн лет назад в пределах бассейна начался ультрамедленный спрединг океанической коры. Для бассейна типичны минимум два типа океанической коры. Кора с возрастными около 56–45 Ма формировалась в условиях «нормального» спрединга и, вероятно, имеет базальтовый состав. Кора с возрастными 45–0 Ма формировалась в условиях ультрамедленного спрединга. Традиционно считается, что кора ультрамедленного спрединга формировалась в условиях эксгумации мантийного вещества и представлена в основном серпентинитами с разной долей базальтового материала. По этой тематике в последние годы проводятся специальные

экспедиции, и данная проблема активно обсуждается и заслуживает отдельных публикаций.

Хребет Ломоносова всеми считается блоком с континентальной корой позднекембрийско-раннепалеозойского возраста.

Для Арктического океана типичен полистадийный магматизм. Наиболее крупная эпоха магматизма была в мелу. Область этого магматизма принято называть High Arctic Large Igneous Province (HALIP) (Большая магматическая провинция Высокой Арктики). Точные датировки магматизма не совсем многочисленные, обычно считается что около 125–100 Ма была главная эпоха, дополнительные фазы магматизма были около 100–80 Ма.

Данные и методы. В основу работы положены по возможности все геолого-геофизические данные для Арктического океана. Нами создана компьютерная база данных в цифровом виде. В нее входят почти все федеральные российские сейсмические профили для Арктического региона, данные по батиметрии, гравитационным и магнитным аномалиям. В базу данных также включены канадско-американские сейсмические профили в цифровом виде. Частично мы имеем немецкие профили. Данные исследователей из других организаций и стран мы брали по публикациям. Мы также старались обобщать данные всех многочисленных публикаций по всему Арктическому региону. Основной метод работы — интерпретация сейсмических профилей совместно с анализом всех других данных.

Результаты. Сейсмостратиграфия и тектоностратиграфия. Нами разработана сейсмическая стратиграфия для Арктического океана. В глубоководной части Арктического океана в разрезе мелкайнозойских отложений нами выделено 8 ключевых сейсмических горизонтов [Nikishin et al., 2014; 2021b; Никишин и др., 2022].

1. *Горизонт с возрастом ± 125 Ма* отвечает времени начала рифтинга в Чукотском и Восточно-Сибирском морях, проявления магматизма (HALIP) в районе поднятия Альфа-Менделеева и на шельфах Арктического океана (плато Де-Лонга, Земля Франца Иосифа, Шпицберген, южный борт Северо-Чукотского бассейна, острова Арктического Архипелага Канады и др.).

2. *Горизонт ± 100 Ма* маркирует границу типа рифт-пострифт в Северо-Чукотском бассейне и бассейнах Восточно-Сибирского и Лаптевых морей. Эта граница соответствует примерно кровле сейсмического комплекса SDR (Seaward Dipping Reflectors) с рефлекторами, наклоненными в направлении более глубокой части моря) для поднятия Менделеева и бассейнов Подводников и Толля. Она может быть диахронной (в диапазоне возрастов 100–90 Ма).

3. *Поверхность с возрастом ± 80 Ма* проводится по кровле высокоамплитудных отражений (high-amplitude reflection sequence–2, HARS–2; высокоамплитудная секвенция рефлекторов–2) и соответствует началу регионального униформного

погружения бассейна Подводников. Она соответствует, вероятно, началу периода похолодания в Арктике [Nikishin et al., 2021b] и времени завершения вулканизма на поднятии Альфа-Менделеева [Mukasa et al., 2020].

4. *Граница ±66 Ma*. Она соответствует примерно среднебрукскому несогласию на Аляске (mid-Brookian, MBU) или несогласию на рубеже мела и палеогена. Она также может быть диахронной (от маастрихта и до зеландия). Эта граница обоснована малоглубинным стратиграфическим бурением и палеонтологическим обоснованием в Чукотском море. Данные этого бурения увязаны с сетью региональных сейсмических профилей [Малышев и др., 2024].

5. *Граница ±56 Ma* соответствует поверхности раздела рифт-пострифтовых отложений в районе хребта Ломоносова. Она отвечает началу спрединга в Евразийском бассейне (breakup unconformity, несогласие раскола литосферы). Эта граница прослеживается в разрезах на большей части Арктического океана как подошва высокоамплитудных отражений (high-amplitude reflection sequence-1, HARS-1; высокоамплитудная секвенция рефлекторов-1). Эта граница соответствует началу климатического палеоцен-эоценового температурного максимума (Paleocene-Eocene Thermal Maximum, (PETM)) и началу формирования вероятных карбонатных платформ и построек на поднятии Менделеева [Posamentier et al., 2025]. Эта граница обоснована малоглубинным стратиграфическим бурением и палеонтологическим обоснованием в море Лаптевых. Данные этого бурения увязаны с сетью региональных сейсмических профилей [Malyshev et al., 2025].

6. *Граница ±45 Ma* выделяется в кровле высокоамплитудных отражений (high-amplitude reflection sequence-1, HARS-1; высокоамплитудная секвенция рефлекторов-1). Она соответствует подошве верхнего клиноформного комплекса (upper clinofom complex) Северо-Чукотского бассейна. Эта граница проявлена, по нашим данным, вблизи кровли карбонатных построек и фиксирует начало похолодания в Арктике. В Евразийском бассейне данная граница хорошо коррелируется с возрастными датировками пород океанической коры, оцененных по данным линейных магнитных аномалий. Она опирается в образования океанической коры с возрастом около 45 Ma.

7. *Граница ±34 Ma* трассируется в кровле хаотического горизонта (chaotic horizon) на шельфах Восточно-Сибирского и Чукотского морей и совпадает со временем палеогеографической перестройки в Амеразийском бассейне. Возраст ее увязан с возрастными линейными магнитными аномалиями в Евразийском бассейне.

8. *Граница ±20 Ma* интерпретируется как поверхность, связанная с региональным эрозионным событием с проявлением многочисленных оползневых процессов на склонах подводных гор. Она соответствует времени начала общеокеанических

морских течений (ventilated circulation regime) в связи с открытием глубоководного пролива Фрама и началом единых морских донных течений в Северной Атлантике и в Арктическом океане. Граница проходит вблизи основания миоценовых отложений на хребте Ломоносова согласно проекту бурения АСЕХ по данным [Backman et al., 2008]. Возраст ее увязан с датировками линейных магнитных аномалий в Евразийском бассейне.

Для многих бассейнов и поднятий Арктического океана нами предлагались схемы хроностратиграфии и тектоностратиграфии (например, [Никишин и др., 2022; Nikishin et al., 2021b; 2025]). В данной работе мы представляем обновленные версии тектоностратиграфии для поднятия Менделеева, Канадского и Евразийского бассейнов (рис. 2).

История геологического развития. Триасово-юрская палеогеография и палеотектоника была нами охарактеризована ранее [Nikishin et al., 2021c; 2024; Никишин и др., 2022]. Арктического океана еще не было, были шельфовые моря и области суши. В районе Канадского бассейна с юры начались фазы рифтинга, которые, возможно, были связаны с будущим формированием океана.

В истории Арктического океана мы выделяем следующие стадии развития [Nikishin et al., 2021c; 2023; 2024; 2025; Никишин и др., 2022] (рис. 3, 4).

1. Юра-готерив. Возможный континентальный рифтинг. Вероятно, было влияние Верхояно-Чукотской орогении перед аптом раннего мела.

2. Баррем (апт)-альб (~125–100 Ma). Формирование вулканотектонического поднятия Альфа-Менделеева и сопряженных бассейнов типа Подводников, Макарова, Стефанссона и др. Характерны магматические комплексы типа Seaward Dipping Reflectors (SDR) как для поднятия Альфа-Менделеева, так и для бассейнов. Было сильное растяжение континентальной коры, но разрыва ее не произошло. Тектоника была во внутриплитном режиме. Геодинамика объясняется наличием горячего вещества в мантии (плюм, горячее пятно, мантийное течение; есть разные варианты объяснения).

3. Поздний мел (100–70 Ma). Основная фаза раскрытия Канадского бассейна. Бассейн раскрывался как задуговой бассейн для Тихоокеанской зоны субдукции. Для пассивной окраины Канадского бассейна для склона хребта Нортвинд (Чукотский Бордерленд) характерны магматические комплексы типа SDR с вероятным возрастом около 125–100 Ma. Из этого следует, что сам бассейн моложе континентальной окраины и моложе SDRs.

4. Поздний мел-палеоцен (~70–56 Ma). Внутриплитный рифтинг, который охватил часть района Канадского бассейна, бассейн Стефанссона, район моря Лаптевых и область будущего Евразийского бассейна. На огромной территории формировалось большое количество сбросов. В Амеразийском бассейне мы выделяем рифтовую систему Нортвинд-Север (от Чукотского Бордерленда и до Север Спур на

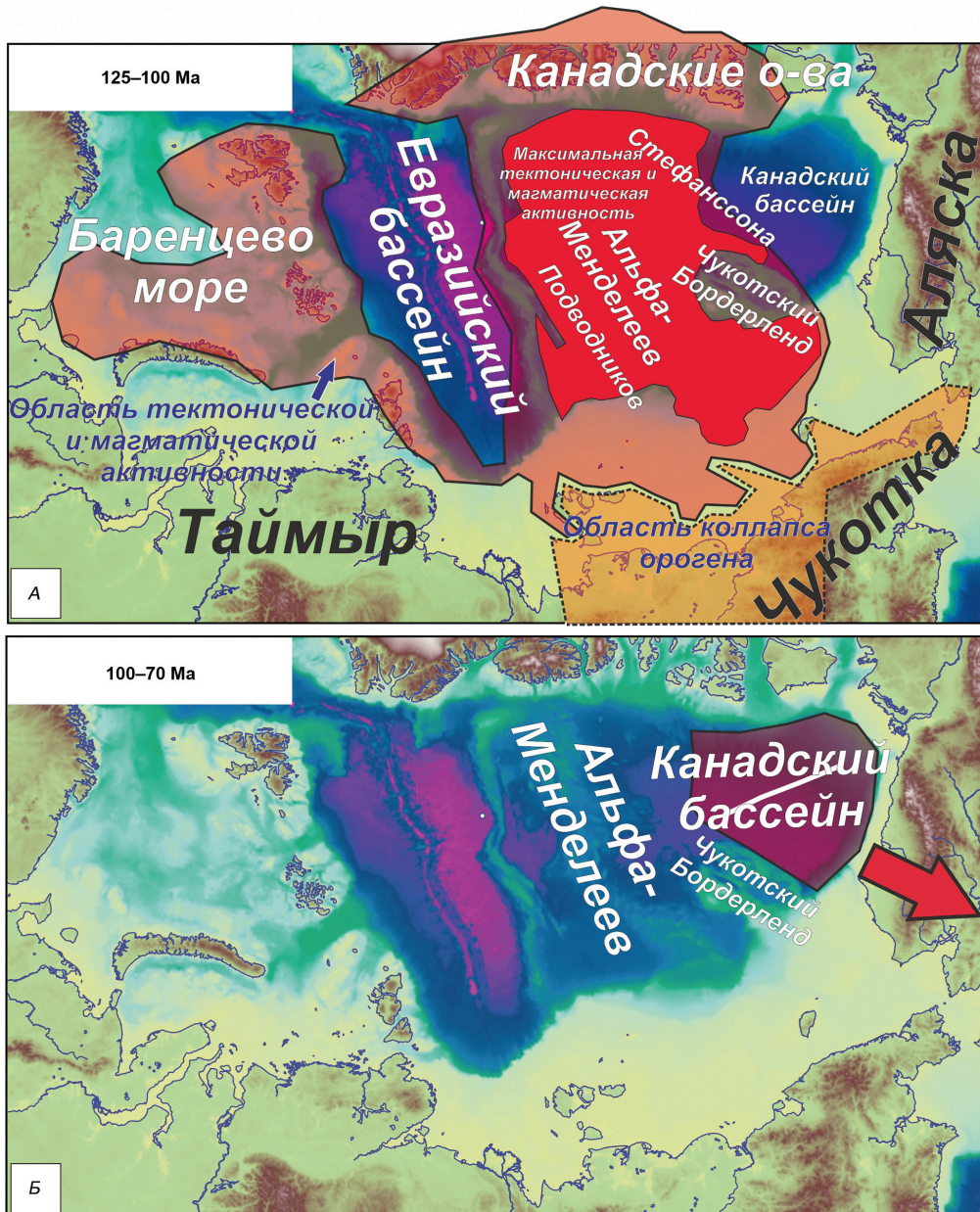


Рис. 3. На современной географической основе показаны главные тектонические и магматические структуры, сформированные за 125–70 Ма (А и Б). Основные новообразования показаны цветом. 125–100 Ма (А): формирование структур области Альфа-Менделеева и сопряженных бассейнов; трапповый магматизм во многих местах; коллапс орогена в районе Чукотки. 100–70 Ма (Б): раскрытие Канадского бассейна. Белая жирная линия — ось спрединга океанической коры. Красная стрелка — направление отодвигания Аляски. Составлена на основе [Nikishin et al., 2021c; 2025]

поднятия Менделеева и HALIP в целом. В пользу того, что базальты SDRs подводного склона хребта Нортвинд имеют возраст HALIP (125–100 Ма) свидетельствует то, что этот район входит в единый регион с крупной общей магнитной аномалией.

Естественно считать, что сам Канадский бассейн моложе времени рифтинга на его континентальных окраинах. Поэтому мы считаем, что Канадский бассейн начал раскрываться около 100 Ма после окончания формирования комплексов SDRs. На рис. 6 показана наша модель геометрического раскрытия Канадского бассейна. Мы выделяем две фазы раскрытия бассейна. Во время первой фазы ось раскрытия была параллельна хребту Нортвинд.

Это следует из того, что комплексы SDRs, вероятно, наклонены ортогонально оси максимального растяжения. Во время этой фазы в основном формировалась сильно растянутая континентальная кора и переходная кора (transitional crust), если следовать широко известной модели строения коры Канадского бассейна [Chian et al., 2016]. Во время второй фазы несколько поменялась ориентировка раздвижения и стала формироваться «нормальная» океаническая кора. Для геометрического раскрытия Канадского бассейна нужно иметь какую-то сдвиговую зону. Мы допускаем наличие Амеразийского сдвига, который обычно всеми допускается для восточного склона хребта Нортвинд. Но мы допускаем, что этот сдвиг

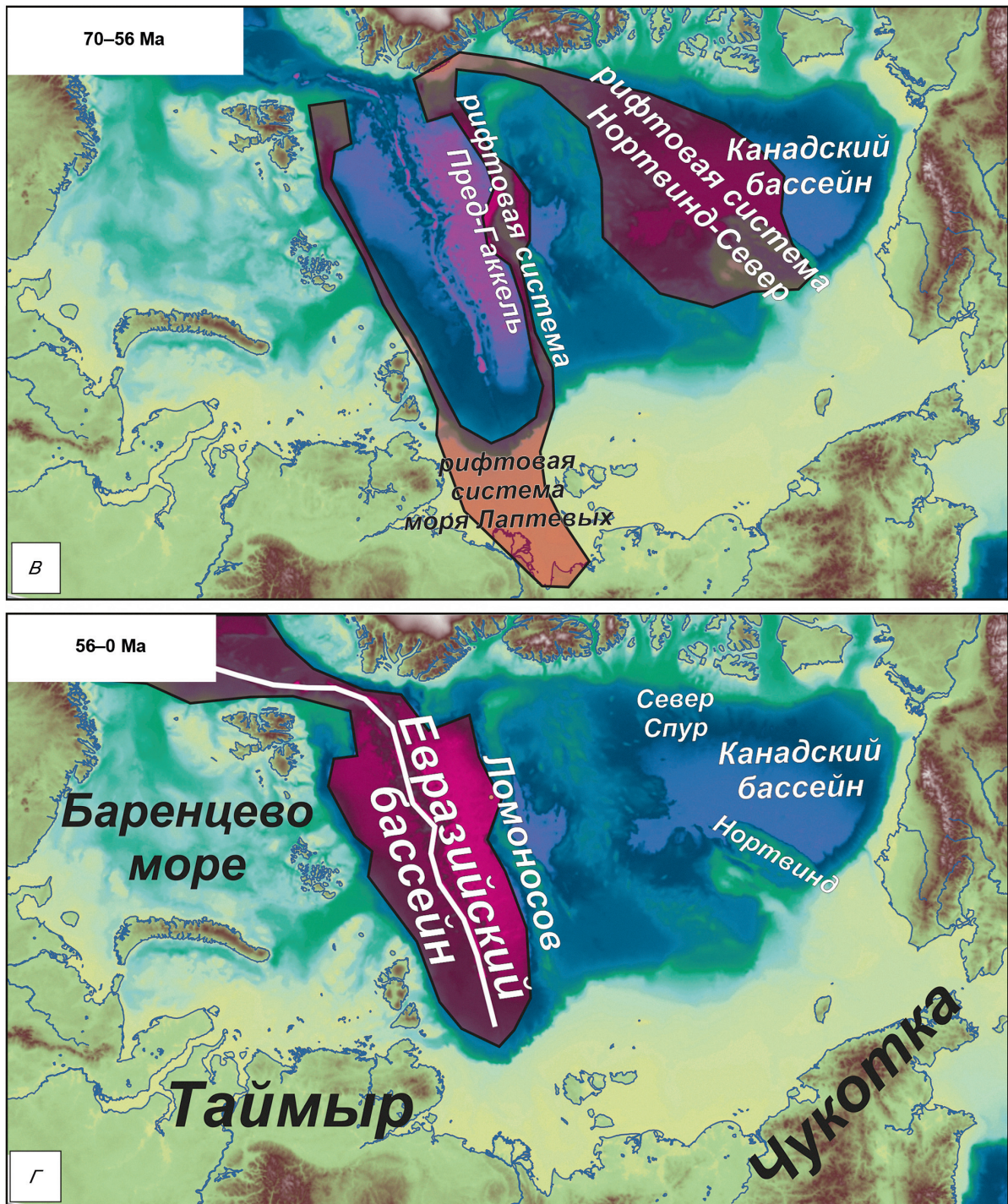


Рис. 4. На современной географической основе показаны главные тектонические и магматические структуры, сформированные за 70–0 Ма (В и Г). Основные новообразования показаны цветом. 70–56 Ма (В): внутриплитный рифтинг и магматизм. 56–0 Ма (Г): раскрытие Евразийского бассейна. Белая жирная линия — ось спрединга океанической коры. Составлено на основе [Nikishin et al., 2021c; 2025]

(или широкая сдвиговая зона) доходил до Тихоокеанской зоны субдукции [Nikishin et al., 2014; Nikishin et al., 2025].

Канадский бассейн, вероятно, формировался как задуговой бассейн Тихоокеанской зоны субдукции, направленной под Аляску [Nikishin et al., 2025]. Поздне меловая субдукция под Аляску принята во многих публикациях (например, [Akinin et al., 2020]).

Мы предполагаем, что раскрытие Канадского бассейна закончилось в маастрихте около 70 Ма. В это время в Канадском бассейне в районе бассейна Бофорт-Маккензи была существенная палеографическая перестройка [Chen et al., 2025].

В Канадском бассейне между осевым меловым рифтом и Канадскими островами был выделен бассейн 78°N (78 градуса северной широты) [Hutchinson et al., 2017] (рис. 6, 7). Бассейн наложен на силь-

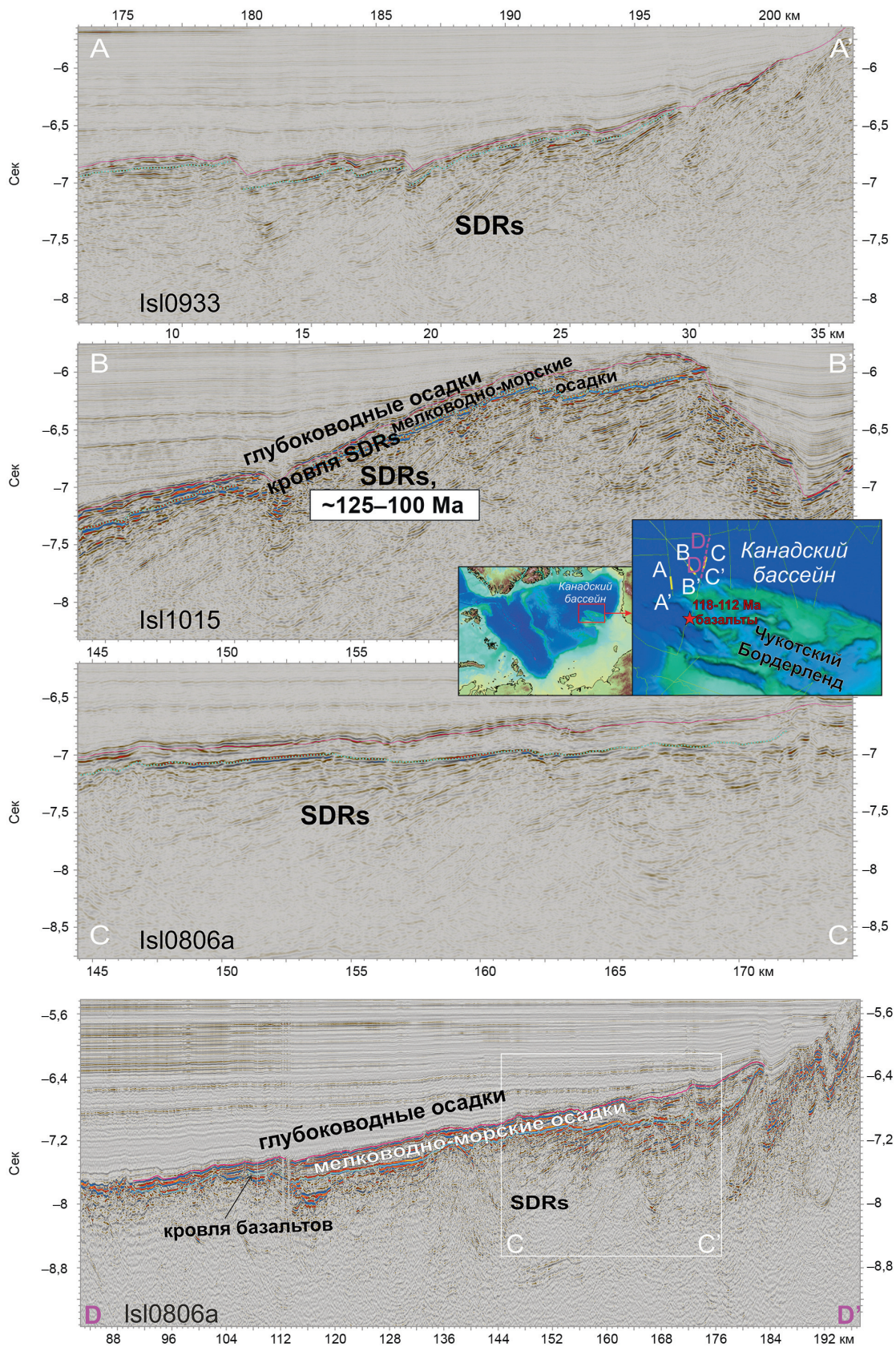


Рис. 5. На сейсмических профилях на склоне Чукотского Бордерленда в сторону Канадского бассейна видны комплексы типа SDR. Хорошо видна кровля SDRs. Вероятно, это граница типа break-up (раскола литосферы). Рядом находится точка с изотопными возрастными 118–112 Ma [Mukasa et al., 2020]. Вероятно, SDR комплексы имеют сходный возраст в интервале 125–100 Ma. Горизонтально слоистая толща с яркими рефлекторами лежит сразу на SDRs. Вероятно, это мелководные осадки с возможными карбонатами. Выше залегают более глубоководные осадки. Сейсмические данные по [Shimeld et al., 2021]. Интерпретация по [Nikishin et al., 2025]

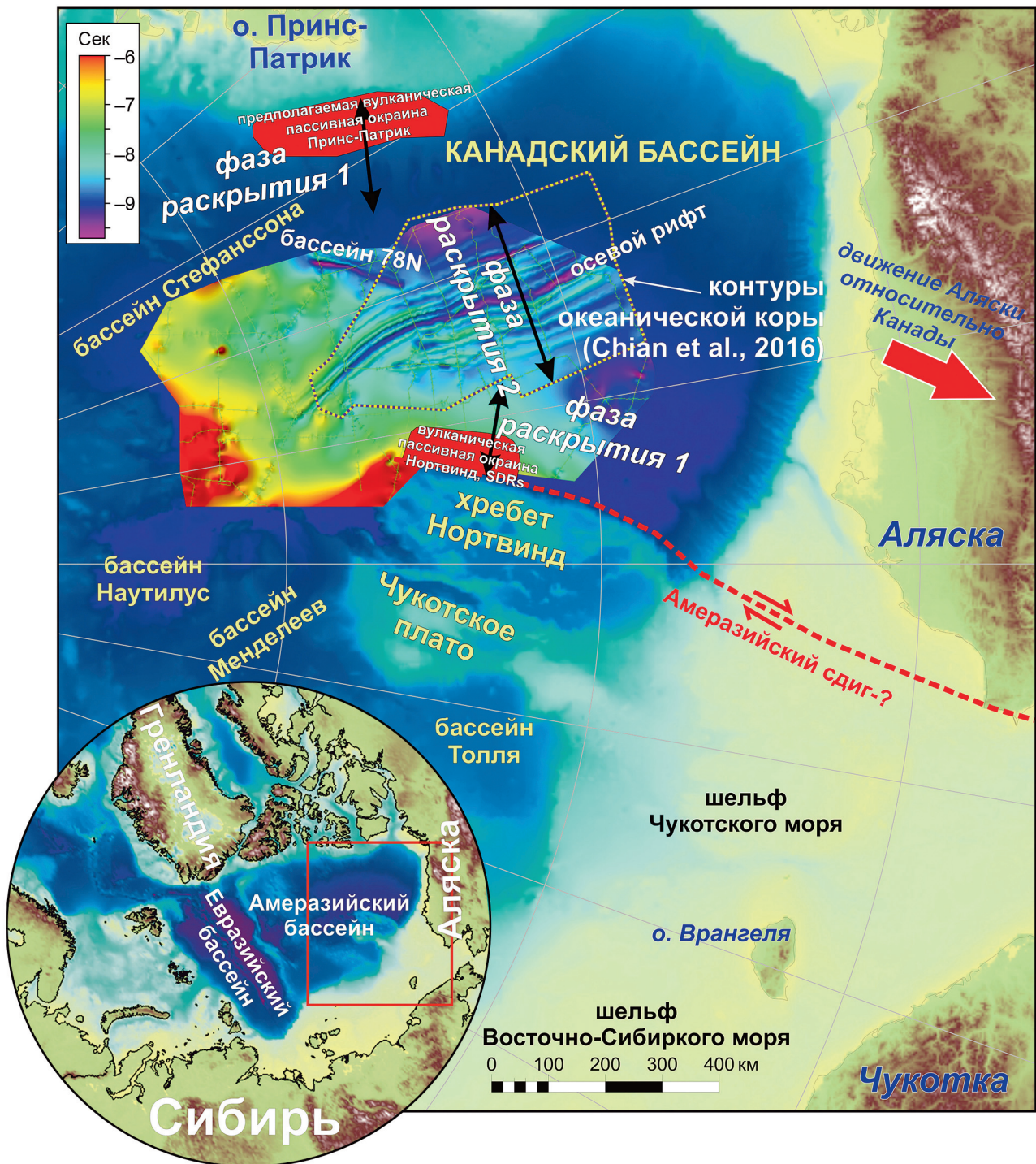


Рис. 6. Элементы геологического строения и истории формирования Канадского бассейна на карте батиметрии Арктического океана. Показана карта рельефа акустического фундамента (более синие цвета — глубже, более желтые и красные — выше). Показаны контуры области с океанической корой, для остальной территории Канадского бассейна предполагается наличие сильно утоненной континентальной или переходной коры (по [Chian et al., 2016]). Красным цветом показаны обоснованная и предполагаемая пассивные вулканические окраины. Черными стрелками показаны вероятные ориентировки растяжения-раздвижения коры во время двух фаз раскрытия Канадского бассейна. Составлено на основе [Nikishin et al., 2025]

но утоненную континентальную кору, имеет четко выраженный синрифтовый комплекс и однозначно интерпретируемую границу типа рифт-пострифт [Hutchinson et al., 2017; Nikishin et al., 2023; 2025]. Наши корреляции сейсмических профилей показали, что этот бассейн формировался уже после образования Канадского бассейна и наложен на кору Канадского бассейна [Nikishin et al., 2023;

2025]. Аналогичные рифтовые бассейны с четкими сбросами нами выделены в бассейне Стефанссона и в районе Север Спур [Nikishin et al., 2023; 2025]. Многочисленные сбросы того же возраста были выделены восточнее Чукотского Бордерленда [Nikishin et al., 2025]. Между хребтом Ломоносова и Гренландией выделяется грабенообразный бассейн Клёновой (или разломная зона Моря Лин-

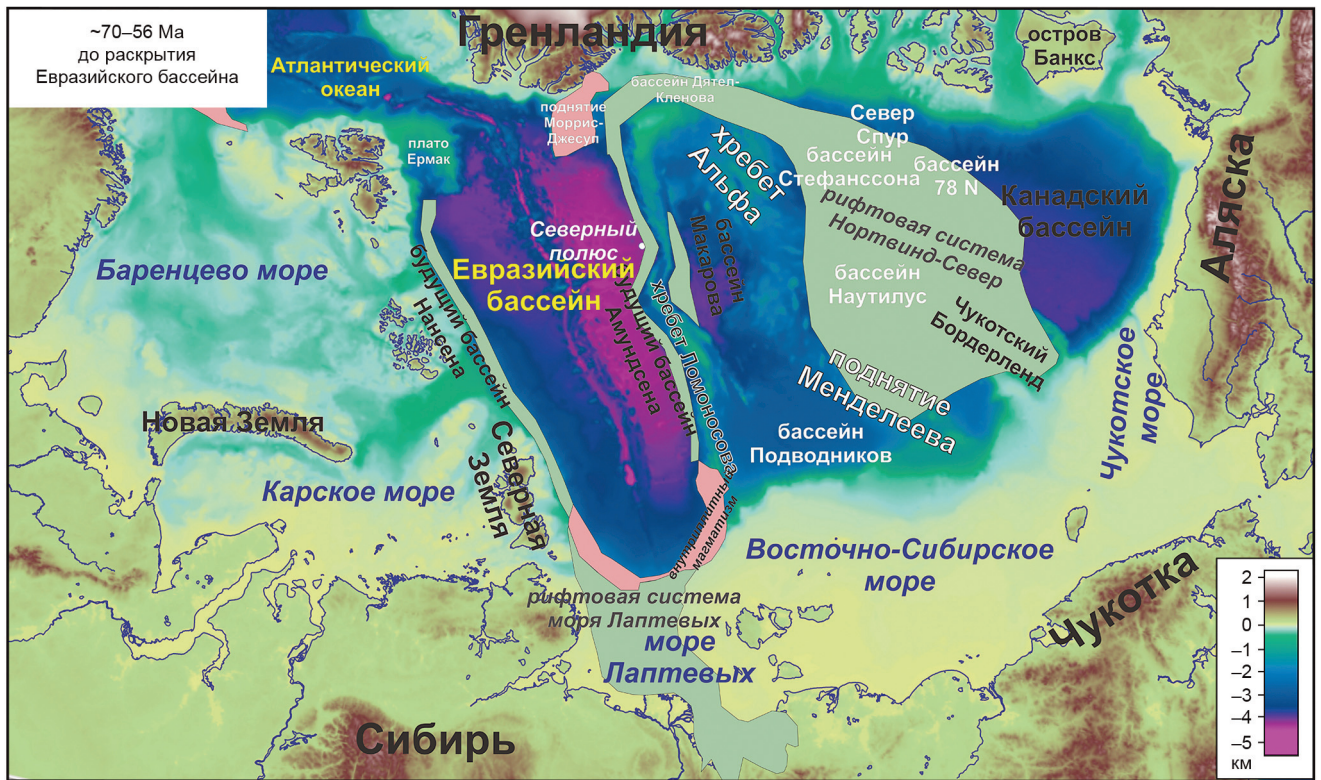


Рис. 7. На современной географической основе показаны главные тектонические и магматические структуры, сформированные за 70–56 Ма. Зеленый цвет — области вероятного внутриплитного рифтинга, розовый цвет — области вероятного магматизма. Составлена на основе [Nikishin et al., 2025]

кольна-долины Клёновой) [Døssing et al., 2014]. На его продолжении в сторону Канадских островов севернее острова Элсмир географически имеется Терраса Николай Дятел. Поэтому весь бассейн мы называем бассейн Дятел-Клёнова. Согласно корреляциям сейсмических профилей, все названные бассейны имеют примерно одинаковый возраст. Они моложе времени образования собственно Канадского бассейна и древнее времени раскрытия Евразийского бассейна. Поэтому их вероятный возраст около 70–56 Ма. Эту систему бассейнов мы назвали рифтовой системой Нортвинд-Север [Nikishin et al., 2025]. Эта рифтовая система формировалась примерно синхронно с континентальным рифтингом в пределах современной Северной Атлантики и залива Баффина, а также синхронно с рифтовой системой моря Лаптевых. Вероятно, геодинамика образования данной рифтовой системы была связана с развитием Северной Атлантики [Nikishin et al., 2023, 2025].

Евразийский бассейн относительно хорошо изучен и интерпретируется разными исследователями примерно одинаково (например [Glebovsky et al., 2006; Nikishin et al., 2018, 2021b; Chernykh et al., 2023b; Aleshina et al., 2024; Faleide et al., 2025]).

В истории формирования Евразийского бассейна можно выделить следующие стадии, которые примерно одинаково были сформулированы многими исследователями (например [Glebovsky et al., 2006; Nikishin et al., 2018, 2021b, 2021c; Chernykh et al., 2023b; Faleide et al., 2025]):

1. Палеоцен (66–56 Ма). Формирование континентальной рифтовой системы в зоне будущего Евразийского бассейна. Рифтовые системы в районе моря Лаптевых являются наиболее изученными. В разных районах вероятно проходил вулканизм. По данным сейсморазведки магматизм обоснован для поднятия Моррис-Джесуп (севернее Гренландии) и района границы моря Лаптевых и современного Евразийского бассейна (например, [Nikishin et al., 2021b; Brotzer et al., 2022; Aleshina et al., 2024]).

2. 56–45 Ма. Первая фаза раскрытия Евразийского бассейна с формированием «нормальной» океанической коры. Вначале раскрытия, возможно, имело место экзумация вещества мантии.

3. 45–34 Ма. Ультрамедленный спрединг океанической коры. В интервале времени 56–34 Ма Евразийский бассейн был изолирован от Северо-Атлантического бассейна и был отдельным глубоководным бассейном. Евразийский и Северо-Атлантический бассейны, как считается, были связаны сдвиговой системой.

4. 34–20 Ма. Продолжение ультрамедленного спрединга. Пропагация спрединга в бассейн Моррис-Ермак. Отсутствие непрерывной связи с Северо-Атлантическим бассейном.

5. 20–0 Ма. Продолжение ультрамедленного спрединга. Пропагация ультрамедленного спрединга в бассейн Пролив Фрама. Полное соединение с Северо-Атлантическим бассейном.

В истории формирования Евразийского бассейна есть несколько важных явлений. На рис. 7 показано,

что до раскрытия Евразийского бассейна широко проявился внутриплитный рифтинг: формировалась рифтовая система моря Лаптевых, рифтовая система в полосе будущего Евразийского бассейна и рифтовая система Нортвинд-Север в Амеразийском бассейне. Магматизм также, вероятно, предшествовал раскрытию Евразийского бассейна.

Если мы посмотрим на карту батиметрии Арктического океана (рис. 1), то увидим, что рельеф хребта Ломоносова и поднятие Альфа-Менделеева имеет горст-грабеновый характер типа бассейнов и хребтов. Интерпретация имеющихся сейсмических профилей показывает, что горсты и грабены рельефа дна образованы молодыми сбросовыми системами [Bruvold et al., 2012; Brumley, 2014; Nikishin et al., 2014; 2018; 2021b; Weigelt et al., 2020]. Для поднятия Менделеева был предложен возраст сбросообразования около 22–14 Ма [Bruvold et al., 2012]. По данным корреляции сейсмических профилей мы обосновывали возраст сбросообразования около 45–34 Ма с дополнительными фазами моложе 20 Ма. Для района Чукотского Бордерленда по изотопному анализу рудного вещества обоснован возраст сбросообразования около 8–5 Ма [Hein et al., 2024; Nikishin et al., 2025]. Для хребта Ломоносова типичны молодые сбросы, смещающие вероятные неоген-четвертичные отложения [Weigelt et al., 2020; Nikishin et al., 2014, 2021b]. Области сбросообразования с возрастом моложе 45 Ма в районе хребта Ломоносова, поднятия Альфа-Менделеева и Чукотского Бордерленда ориентированы параллельно хребту Гаккеля (рис. 8). Для склона хребта Гаккеля в сторону хребта Ломоносова характерна молодая активизация более древних разломов в фундаменте. Типичным примером является тектоническая ступень Казмина, которая хорошо выражена в современном рельефе [Nikishin et al., 2021b] (см. рис. 1). Из всего этого следует, что синхронно с ультрамедленным спредингом в хребте Гаккеля область растяжения и сбросообразования эпизодически распространялась на регион шириной не менее 1300 км. Наиболее обоснованными эпохами сбросообразования являются интервалы времени около 45–34 Ма [Nikishin et al., 2021c] и 20–0 Ма. В пределах Восточно-Сибирского и Чукотского морей нами выделена правосторонняя сдвиговая зона Умки с вероятным возрастом около 45–34 Ма [Никишин и др., 2022] (рис. 8). Длина зоны около 1300 км, ширина — до 500 км. Возможно, формирование этой сдвиговой зоны как-то связано с началом ультрамедленного спрединга хребта Гаккеля.

Дискуссия. Вулкано-тектоническое поднятие Альфа-Менделеева и сопряженные бассейны Подводников, Макарова, Толля, Менделеева, Наутилус и Стефанссона формировались, вероятно, примерно одновременно 125–100 Ма с вероятным продолжением магматизма до 90–80 Ма. Синхронно с магматизмом HALIP произошел коллапс Верхояно-Чукотского орогена, который сопровождался растяжением и магматизмом [Nikishin et al., 2024].

Все исследователи объясняют магматизм HALIP с наличием горячего вещества в верхней мантии (например [Dobretsov et al., 2013; Лобковский и др., 2013; Nikishin et al., 2014; Соколов и др., 2022; Metelkin et al., 2021]). Это горячее вещество поступало по разным моделям либо в виде мантийных плюмов или суперплюма, либо в связи с мантийными течениями во всей мантии или в верхней мантии. Нам надо объяснить примерную синхронность начала магматизма HALIP и коллапса Верхояно-Чукотского орогена. Самое простое объяснение состоит в том, что до 125 Ма за какое-то длительное время горячее вещество поступало в верхнюю мантию Арктики. Около 125 Ма произошло региональное стрессовое событие растяжения, которое привело к выводу огромного количества магмы на поверхность и в земную кору. Затем процессы растяжения и магматизма сфокусировались в районе поднятия Альфа-Менделеева и в сопряженных бассейнах. Началом стрессового события и причиной растяжения, вероятно, были изменения и перестройки в глобальной кинематике литосферных плит. Важно отметить, что в рамках точности изотопных датировок магматических пород область магматизма HALIP формировалась примерно синхронно с известными областями магматизма Кергелен и Онтонг-Джава [Ernst et al., 2021]. Это означает, что были некие глобальные геодинамические причины для синхронного магматического события в разных частях Земли.

Позднемеловой возраст главной фазы раскрытия Канадского бассейна логично вытекает из известных моделей геодинамики, обоснованных на примере истории раскрытия Атлантического океана. Сначала магматизм типа траппового и крупномасштабный рифтинг (в нашем случае магматизм HALIP), а затем раскрытие бассейна с океанической корой. Все «настоящие» океаны современной Земли образуют единую систему срединно-океанических хребтов. Современные задуговые бассейны типа Японского моря не входят в мировую систему океанов (срединно-океанических хребтов). По реконструкциям разных авторов Канадский бассейн не входил в мировую систему со срединно-океаническими хребтами. Это дополнительный аргумент в пользу задугового происхождения Канадского бассейна с Тихоокеанской зоной субдукции под Аляску.

Раскрытию Евразийского бассейна предшествовала фаза крупномасштабного внутриплитного рифтинга. Формировалось, вероятно, две основных полосы рифтинга. Первая, от рифтовой системы моря Лаптевых и далее вдоль будущей зоны Евразийского бассейна. Вторая, в Амеразийском бассейне от Чукотского Бордерленда до бассейнов Стефанссона и Дятел-Клёнова. Обе полосы рифтинга уходили в зоны рифтинга Северной Атлантики и залива Баффина. Раскрытию Евразийского бассейна, вероятно, предшествовали фазы магматизма. Это соответствует тому, что было перед раскрытием Северной Атлантики (например, [Gernigon et al., 2020]).

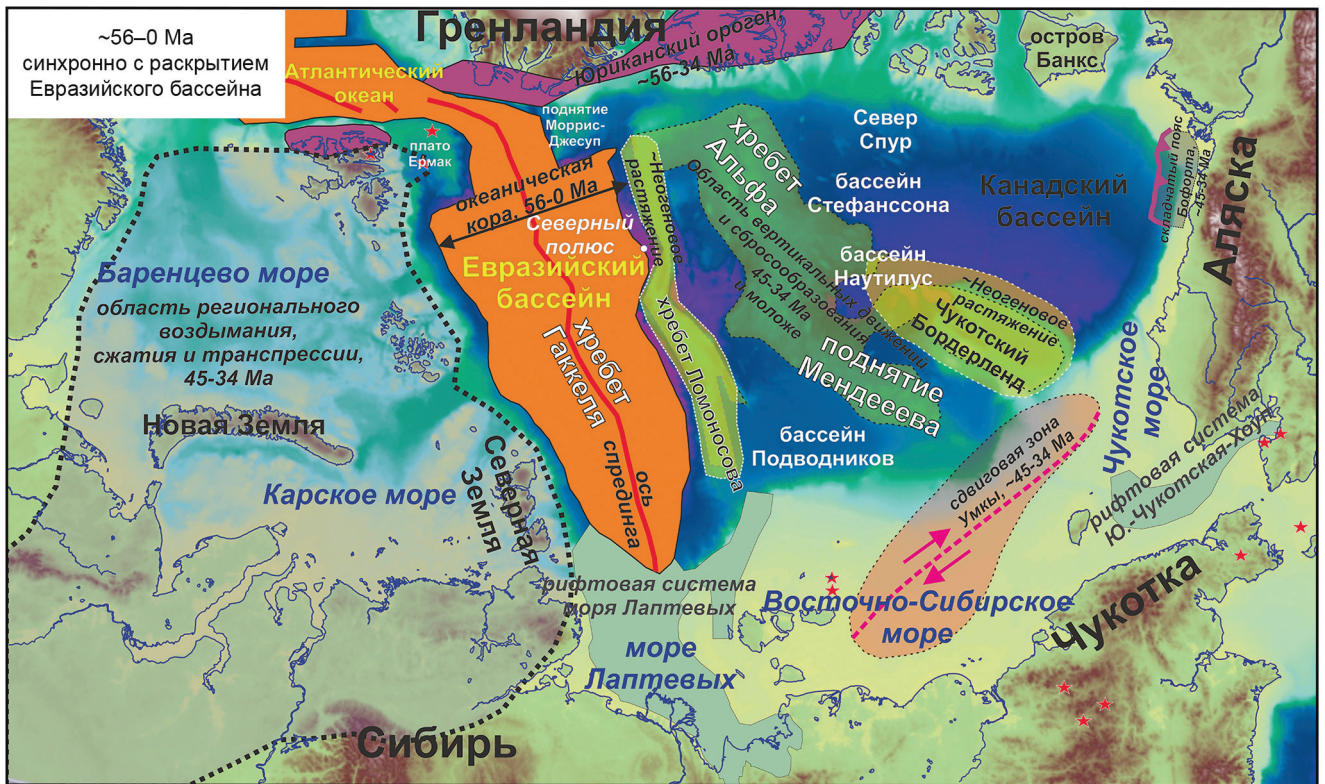


Рис. 8. На современной географической основе показаны основные тектонические и магматические структуры, сформированные за 56–0 Ма. Цветами показаны основные новообразованные структурные области. Звездочки — области вулканизма. Составлена на основе [Nikishin et al., 2025]

Северная и Южная Атлантика раскрывались не с синхронным раздвижением вдоль будущего океана, а по сегментам. Каждый сегмент в плане имел клиновидную форму, при этом сегменты только с одной стороны были ограничены трансформными разломами [Franke, 2013; Gernigon et al., 2020; Chauvet et al., 2021]. Вероятно, Евразийский бассейн раскрывался по аналогичной модели. В интервале времени 56–34 Ма со стороны плато Ермак и поднятия Моррис-Джесуп был активный трансформный разлом. Океанический бассейн раскрывался в виде клина в плане, при этом, вероятно, трансформного разлома в зоне перехода к рифтовой системе моря Лаптевых не было, как нет его и сейчас. Вполне вероятно, что время начала раскрытия Евразийского бассейна несколько омолаживалось в сторону моря Лаптевых.

Примерно 45 Ма начался ультрамедленный спрединг хребта Гаккеля. Согласно с нашими моделями сейсмостратиграфии, примерно 45–34 Ма и 20–0 Ма на поднятии Альфа-Менделеева, на хребте Ломоносова и на Чукотском Бордерленде были фазы сбросообразования. Синхронность растяжения и сбросообразования в полосе шириной порядка 1300 км и ультрамедленного спрединга в хребте Гаккеля указывает, вероятно, на то, что причиной спрединга было региональное тектоническое растяжение. Вероятно, ультрамедленный спединг на хребте Гаккеля носил пассивный характер. То есть, не некие геодинамические процессы под срединно-океаническим

хребтом, а региональные тектонические силы были причиной раздвижения литосферных плит.

Состав и строение океанической коры Евразийского бассейна — это особая тема исследований, которой в последние годы посвящено много работ. Есть минимум два типа коры: кора «нормального» спрединга и кора ультрамедленного спрединга. Обычно считается, что кора «нормального» спрединга имеет магматический базальтовый состав. Кора ультрамедленного спрединга в значительной мере представлена эксгумированным мантийным веществом (серпентинитами) с добавками в разной степени базальтового (габброидного) вещества.

Заключение. В мезозое и кайнозое мы выделяем четыре основных этапа развития Арктического океана.

1. Баррем (апт)-альб (~125–100 Ма). Формирование вулcano-тектонического поднятия Альфа-Менделеева и сопряженных бассейнов типа Подводников, Макарова, Стефанссона и др. Тектоника была во внутриплитном режиме. Геодинамика объясняется наличием горячего вещества в мантии.

2. Поздний мел (100–70 Ма). Основная фаза раскрытия Канадского бассейна. Бассейн раскрывался как задуговой бассейн для Тихоокеанской зоны субдукции.

3. Поздний поздний мел-палеоцен (~70–56 Ма). Внутриплитный рифтинг, который охватил часть Амеразийского бассейна, район моря Лаптевых и область будущего Евразийского бассейна. На огромной

территории формировалось большое количество сбросов. Это рифтовое событие связано уже с геодинамикой Атлантической системы.

4. Эоцен-квартер (56–0 Ма). Поэтапное раскрытие Евразийского бассейна. При этом, в основном между 45 и 34 Ма формировались многочисленные сбросы в районе поднятия Альфа-Менделеева. Многие сбросы формировались и в неогене.

Благодарности. Авторы благодарны многим коллегам из ВНИИОкеангеология, ГИН РАН, ИО РАН,

института им. А.П. Карпинского, ИМГРЭ, ПАО «НК Роснефть», Московского, Новосибирского и Санкт-Петербургского университетов, а также из Магадана и Якутска за дискуссии по геологии Арктики. Мы благодарны многим зарубежным исследователям из Германии, США, Канады, Норвегии, Дании, Китая, Франции, Англии за многолетние плодотворные обсуждения.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект 24-17-00020).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Лобковский Л.И., Шитлов Э.В., Кононов М.В. Геодинамическая модель верхнемантийной конвекции и преобразования литосферы Арктики в мезозое и кайнозое // Физика Земли. 2013. № 6. С. 20–38.

Мальшиев Н.А., Вержбицкий В.Е., Колюбакин А.А. и др. Технологические аспекты и опыт стратиграфического бурения в морях российской Арктики // Геология нефти и газа. 2024. № 3. С. 19–30.

Никишин А.М., Петров Е.И., Старцева К.Ф. и др. Сейсмостратиграфия, палеогеография и палеотектоника Арктического глубоководного бассейна и его российский шельфов // Труды Геологического института РАН. Вып. 632. 2022. 156 с.

Соколов С.Д., Лобковский Л.И., Верниковский В.А. и др. Тектоника и геодинамика Восточной Арктики в мезозое // Геология и геофизика. 2022. Т. 63, № 4. С. 389–409.

Akinin V.V., Miller E.L., Toro J., et al. Episodicity and the dance of Late Mesozoic magmatism and deformation along the Northern Circum-Pacific margin: NE Russia to the Cordillera // Earth-Science Reviews. 2020, 208. P. 103272.

Aleshina K.F., Nikishin A.M., Rodina E.A., et al. Structure of the basement of the near-Laptev part of the Eurasian basin according to geological and geophysical data // Moscow University Geol. Bull. 2024. № 4. P. 102–115.

Backman J., Jakobsson M., Frank M., et al. Age model and core-seismic integration for the Cenozoic Arctic Coring Expedition sediments from the Lomonosov Ridge // Paleogeography. 2008. 23 (1). <https://doi.org/10.1029/2007PA001476>.

Brotzer A., Funck T., Geissler W.H., et al. Geophysical insights on the crustal structure of Greenland's northern continental margin towards the Morris Jesup Spur // Tectonophysics. 2022. Vol. 843. P. 229588.

Brumley K. Geologic history of the Chukchi Borderland, Arctic Ocean // Stanford University. 2014. <http://purl.stanford.edu/hz857zk1405>

Bruvold V., Kristoffersen Y., Coakley B.J., et al. The nature of the acoustic basement on Mendeleev and northwestern Alpha ridges, Arctic Ocean // Tectonophysics. 2012, 514–517. P. 123–145.

Chauvet F., Sapin F., Geoffroy L., Ringenbach J.-C. Conjugate volcanic passive margins in the austral segment of the South Atlantic — Architecture and development // Earth-Sci. Rev. 2021. 212. P. 103461.

Chen Z., Dietrich J., Lane L.S., Li M., Dixon J. Beaufort-Mackenzie Tectono-Sedimentary Element // Drachev S.S., Brekke H., Henriksen E., Moore T. (eds) Sedimentary Successions of the Arctic Region and their Hydrocarbon Prospectivity // Geological Society. London, Memoirs. 2025. 57. <https://doi.org/10.1144/M57-2016-3>

Chernykh A.A., Yakovenko I.V., Kaminskiy V.D., et al. A Tectonic Scheme for the Amerasia Basin of the Arctic

Ocean // Doklady Earth Sciences. 2023a. Vol. 510, Part 2. P. 387–393.

Chernykh A.A., Yakovenko I.Y., Korneva M.S., Glebovsky V.u. Digital Models of the Deep Structure of the Earth's Crust in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean // Geotectonics. 2023b. Vol. 57, Suppl. 1. P. S34–S52.

Chian D., Jackson H.R., Hutchinson D.R., et al. Distribution of crustal types in Canada Basin, Arctic Ocean // Tectonophysics. 2016. 691. P. 8–30.

Dobretsov N.L., Vernikovskiy V.A., Karyakin Y.V., et al. Mesozoic-Cenozoic volcanism and geodynamic events in the Central and Eastern Arctic // Russ. Geol. Geophys. 2013. 54. P. 874–887.

Døssing A., Hansen T.M., Olesen A.V., et al. Gravity inversion predicts the nature of the Amundsen Basin and its continental borderlands near Greenland // Earth and Planetary Science Letters. 2014. 408. P. 132–145.

Ernst R.E. Large Igneous Provinces // Encyclopedia of Geology (Second Edition). 2021. P. 60–68. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12528-X>

Faleide J.I., Abdelmalak M.M., Minakov A., et al. Eurasia Basin Composite Tectono-Sedimentary Element // Geological Society. London, Memoirs. 2025. Vol. 57.

Franke D. Rifting, lithosphere breakup and volcanism: Comparison of magma-poor and volcanic rifted margins // Mar. Petrol. Geol. 2013. 43. P. 63–87.

Funck T., Shimeld J. Crustal structure and magmatism of the Marvin Spur and northern Alpha Ridge, Arctic Ocean // Geophysical Journal International. 2023. Vol. 233, Iss. 1. April 2023. P. 740–768.

Gernigon L., Franke D., Geoffroy L., et al. Crustal fragmentation, magmatism, and the diachronous opening of the Norwegian-Greenland Sea // Earth-Science Reviews. 2020. 206. P. 102839.

Glebovsky V.Yu., Kaminsky V.D., Minakov A.N., et al. Formation of the Eurasia Basin in the Arctic Ocean as Inferred from Geohistorical Analysis of the Anomalous Magnetic Field // Geotectonics. 2006. Vol. 40, No. 4. P. 263–281.

Hein J.R., Mizell K., Gartman A. Neogene hydrothermal Fe- and Mn-oxide mineralization of Paleozoic continental rocks, Amerasia Basin, Arctic Ocean // Geochemistry. Geophysics. Geosystems. 2024. 25. P. e2023GC010996.

Hutchinson D.R., Houseknecht D.W., Mosher D.C. Canada Basin Tectono-Sedimentary Element, Arctic Ocean // Drachev S.S., Brekke H., Henriksen E. and Moore T. (eds) Sedimentary Successions of the Arctic Region and their Hydrocarbon Prospectivity // Geological Society. London. 2025. Memoirs. 57. <https://doi.org/10.1144/M57-2022-49>

Hutchinson D.R., Jackson H.R., Houseknecht D.W., et al. Significance of Northeast-Trending Features in Canada Basin,

- Arctic Ocean // *Geochemistry, Geophys. Geosystems*. 2017. 18. P. 4156–4178.
- Jakobsson M., Mayer L.A., Bringsenparr C., et al. The international bathymetric chart of the Arctic Ocean Version 4.0 // *Sci. Data*. 2020. 7. P. 176.
- Kashubin S.N., Petrov O.V., Artemieva I.M., et al. Crustal structure of the Mendeleev Rise and the Chukchi Plateau (Arctic Ocean) along the Russian wide-angle and multichannel seismic reflection experiment “Arctic-2012” // *J. Geodyn.* 2018. 119. P. 107–122.
- Kossovaya O.L., Tolmacheva T.Yu., Petrov O.V., et al. Palaeozoic carbonates and fossils of the Mendeleev Rise (Eastern Arctic): study of sea bottom dredged material // *J. Geodyn.* 2018. 120. P. 23–44.
- Malyshev N.A., Verzhbitskii V.E., Danilkin S.M., et al. Stratigraphic drilling in the northeastern Laptev Sea: main results and further development // *Russian Geology and Geophysics*. 2025. Vol. 66. № 2. P. 142–159.
- Metelkin D.V., Abashev V.V., Vernikovskiy V.A., Mikhailtsov N.E. Paleomagnetic Evidence for the Iceland Plume Paleogeographic Stationarity and Early Cretaceous Manifestation in the High Arctic // *Doklady Earth Sciences*. 2021. Vol. 501. Part 2. P. 1015–1019.
- Mosher D.C., Hutchinson D.R. Canada Basin Geologic Structures of the Arctic Basin / Eds. A. Piskarev, V. Poselov, V. Kaminsky // Springer. Cham. Switzerland, 2019. P. 295–325.
- Mukasa S.B., Andronikov A., Brumley K., et al. Basalts from the Chukchi Borderland: ⁴⁰Ar/³⁹Ar Ages and Geochemistry of submarine intraplate lavas dredged from the western Arctic Ocean // *American Geophysical Union*. 2020. <https://doi.org/10.1029/2019JB017604>
- Nikishin A.M., Aleshina K.F., Rodina E.A., et al. Tectonic evolution of the Amerasia Basin, Arctic Ocean // *Gondwana Research*. 2025. 146. P. 173–199.
- Nikishin A.M., Foulger G.R., Akinin V.V., et al. Arctic Cretaceous tectonic and igneous mega-province (TIMP): regional domains and geodynamics // *Journal of Geodynamics*. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2024.102031>
- Nikishin A.M., Gaina C., Petrov E.I., et al. Eurasia Basin and Gakkel Ridge, Arctic Ocean: Crustal asymmetry, ultra-slow spreading and continental rifting revealed by new seismic data // *Tectonophysics*. 2018. 746. P. 64–82.
- Nikishin A.M., Malyshev N.A., Petrov E.I. Geological Structure and History of the Arctic Ocean // EAGE Publications bv. 2014. <https://doi.org/10.3997/9789462821880>
- Nikishin A.M., Petrov E.I., Cloetingh S., et al. Arctic Ocean Mega Project: Paper 2 — Arctic stratigraphy and regional tectonic structure // *Earth-Sci. Rev.* 2021b. 217. P. 103581.
- Nikishin A.M., Petrov, E.I., Cloetingh S., et al. Arctic Ocean Mega Project: Paper 3 — Mesozoic to Cenozoic geological evolution // *Earth-Sci. Rev.* 2021c. 217. P. 103034.
- Nikishin A.M., Petrov E.I., Cloetingh S., et al. Arctic Ocean Mega Project: Paper 1 — Data collection // *Earth-Sci. Rev.* 2021a. 217. P. 103559.
- Nikishin A.M., Rodina E.A., Startseva K.F., et al. Alpha-Mendeleev Rise, Arctic Ocean: A double volcanic passive margin // *Gondwana Res.* 2023. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.10.010>
- O’Brein T.V., Miller E.L., Benowitz J.P., et al. Dredge samples from the Chukchi Borderland: Implications for paleogeographic reconstruction and tectonic evolution of the Amerasia Basin of the Arctic // *American Journal of Science*. 2016. Vol. 316. P. 873–924.
- Petrov O.V., Smelror M. (eds.). *Tectonics of the Arctic* // Springer Geology. 2021. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-46862-0>
- Piskarev A., Poselov V., Kaminsky V. (Eds.). *Geologic Structures of the Arctic Basin* // Springer International Publishing, Cham. 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77742-9>
- Posamentier H.W., Nikishin A.M., Aleshina K.F., et al. Carbonate deposition in the Arctic during the Paleocene Eocene Thermal Maximum (PETM) and Early Eocene Climatic Optimum (EECO) // *Gondwana Research*. 2025. 139. P. 136–146.
- Shimeld J., Boggild K., Mosher D.C., Jackson H.R. Reprocessed multi-channel seismic-reflection data set from the Arctic Ocean, collected using icebreakers between 2007–2011 and 2014–2016 for the Canadian Extended Continental Shelf program // Geological Survey of Canada, Open File 8850. 2021, 1. <https://doi.org/10.4095/329248>
- Skolotnev S., Aleksandrova G., Isakova T., et al. Fossils from seabed bedrocks: Implications for the nature of the acoustic basement of the Mendeleev Rise (Arctic Ocean) // *Mar. Geol.* 2019. 407. P. 148–163.
- Skolotnev S.G., Fedonkin M.A., Korniyuchuk A. V. New Data on the Age of Magmatic Rocks in the Alpha–Mendeleev Rise (Arctic Ocean) Based on the Results of Isotope U/Pb Dating of Zircons // *Doklady Earth Sciences*. 2023. <https://doi.org/10.1134/S1028334X23601736>
- Weigelt E., Jokat W., Eisermann H. Deposition history and paleo-current activity on the southeastern Lomonosov Ridge and its Eurasian flank based on seismic data // *Geochemistry, Geophysics. Geosystems*. 2020. 21. P. e2020GC009133.

Статья поступила в редакцию 05.11.2025,
одобрена после рецензирования 12.11.2025,
принята к публикации 27.02.2026