

Научная статья
УДК 551.242.2(268)
doi:10.37614/2949-1185.2025.4.3.007

БАРЕНЦЕВОМОРСКИЙ ПОЗДНЕМЕЗОЗОЙСКИЙ МУЛЬТИПЛУМОВЫЙ МАГМАТИЗМ: ЛОКАЛИЗАЦИЯ, ФОРМЫ И ФАЗЫ ПРОЯВЛЕНИЯ

Эдуард Викторович Шипилов

Полярный геофизический институт, Мурманск, Россия
shipilov@pgi.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5998-8779>

Аннотация

Рассматриваются проявления юрско-мелового базальтоидного магматизма, закартированные геофизическими и геологическими исследованиями, в смежных, но контрастно противоположных по генезису и строению тектонических элементах — глубочайшем Восточно-Баренцевском мегабассейне и на сводово-блоковом поднятии архипелага Земля Франца-Иосифа. По сейсмическим данным, в мегабассейне оконтурены ареалы преимущественного развития субгоризонтальных аномальных отражений, обусловленных пластовыми телами силлов. В северной части бассейна по комплексу геофизических данных установлены многочисленные вертикальные зоны потери корреляции отражающих горизонтов, связанные с дайками. На островной суше архипелага полевыми наблюдениями, помимо силлов и даек, зафиксированы магматические образования — покровы и штоки. Временные сейсмические разрезы, иллюстрирующие развитие интрузивного магматизма в осадочном чехле, проинтерпретированы с привлечением материалов по скважинам на архипелаге и на шельфе.

Определение абсолютного возраста базальтоидных образований архипелага $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -методом показало активизацию магматизма востока Баренцевоморской континентальной окраины в течение трёх основных этапов (геттанген — плинсбах, оксфорд — кимеридж и аланжин — баррем — апт) с затуханием в альбе. Установленная многофазность с постоянством локализации проявлений свидетельствует об уникальности юрско-мелового магматизма, что, по мнению автора, позволяет охарактеризовать эти магматогенные события как *результат деятельности мультиплума*. Совместный анализ полученных данных и структуры аномального магнитного поля позволил выделить в строении архипелага срединную зону, разделяющую его на два домена, и в этой связи обосновать новую схему его тектонического районирования.

Ключевые слова:

юрско-меловой магматизм, формы и фазы проявления, аномальное магнитное поле, сейсмический разрез, архипелаг Земля Франца-Иосифа, Восточно-Баренцевский мегабассейн

Благодарности:

исследование выполнено в рамках государственного задания FMES–2022–0001, пер. №122022800577-0.

Для цитирования:

Шипилов Э. В. Баренцевоморский позднемезозойский мультиплумовый магматизм: локализация, формы и фазы проявления // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2025. Т. 4, № 3. С. 99–126. doi:10.37614/2949-1185.2025.4.3.007.

Original article

BARENTS SEA LATE MESOZOIC MULTIPLUME MAGMATISM: LOCALIZATION, FORMS AND PHASES OF MANIFESTATION

Eduard V. Shipilov

Polar Geophysical Institute, Murmansk, Russia
shipilov@pgi.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5998-8779>

Abstract

The manifestations of Jurassic-Cretaceous basaltoid magmatism, mapped by geophysical and geological studies, in adjacent, but contrasting in genesis and structure, tectonic elements - the deepest East Barents megabasin and on the arch-block uplift of Franz Josef Land are considered. In the megabasin, according to seismic data (CDP), areas of predominant development of subhorizontal anomalous reflections caused by layered bodies of sills are outlined. In the northern part of this basin, according to a complex of geophysical data, numerous vertical zones of loss of correlation of reflecting horizons associated with dikes were established. On the island land of the archipelago, in addition to sills and dikes, such magmatic formations as covers and stocks were recorded by field observations. Time seismic sections illustrating the development of intrusive magmatism in the sedimentary cover were interpreted using well data from the archipelago and the shelf. Determinations of the absolute age of basaltoid formations of the islands of the archipelago by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method show that the activation

of magmatism in the east of the Barents Sea continental margin manifested itself during three main stages: Hettangen-Pliensbachian, Oxfordian-Kimmeridgian and Valanginian-Barremian-Aptian with attenuation in the Albian. The established multiphase nature of magmatism with the constancy of the localization of its manifestations indicate the uniqueness of the Jurassic-Cretaceous magmatism, which, in the author's opinion, allows us to characterize these magmatogenic events as the result of multiplume activity. A joint analysis of the obtained data and the structure of the anomalous magnetic field allowed us to identify a middle zone in the structure of the archipelago, dividing it into two domains and, in this regard, to substantiate a new scheme of its tectonic zoning.

Keywords:

Jurassic-Cretaceous magmatism, forms and phases, anomalous magnetic field, seismic section, Franz Josef Land archipelago, East Barents megabasin

Acknowledgments:

The study was carried out as part of government contracts with Polar Geophysical Institute № FMEZ_2022_0001.

For citation:

Shipilov E. V. Barents Sea late mesozoic multiplume magmatism: localization, forms and phases of manifestation // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities. 2025. Vol. 4, no. 3. P. 99–126. doi:10.37614/2949-1185.2025.4.3.007.

Введение

На многочисленных сейсмических разрезах как прежних лет, так и современной модификации, отработанных в Восточно-Баренцевском мегабассейне (ВБМБ), присутствуют многочисленные контрастные, «аномальные» горизонты, отличающиеся интенсивными отражательными свойствами в волновом поле (рис. 1). В различных сейсмокомплексах ВБМБ этим горизонтам свойственна горизонтальная изменчивость и дискордантное, иногда согласное, положение, перескок с одного гипсометрического уровня на другой (рис. 2). В волновом поле они динамически отчётливо выражены и прослеживаются в виде двухфазных колебаний с видимым периодом ~70–100 мс. В рассматриваемых случаях для интервалов аномальных горизонтов характерно скачкообразное возрастание скоростей на 1–2 км/с.

В районах развития и значительной концентрации «аномальных» сейсмических горизонтов в осадочном чехле Баренцевоморской континентальной окраины построение погоризонтных структурных планов и результаты сейсмостратиграфического анализа залегающих под ними раннемезозойских и, особенно, палеозойских комплексов чехла представляются довольно условными. Оси синфазности основных отражающих горизонтов осадочного чехла в волновой картине на сейсмических разрезах, достаточно отчётливо запечатлённые в бортовых частях ВБМБ, в депоцентральных зонах теряют свою выразительность и выглядят размытыми. Анализ параметров волнового поля изучаемой среды показывает, что присутствие пакетов динамичных как субсогласных, так и дискордантных аномальных горизонтов практически полностью подавляет отражающие характеристики рефлекторов нижележащих сейсмостратиграфических комплексов. По этой причине их корреляция во многом затруднительна (см. рис. 1d).

Комплексное моделирование глубинного строения по гравимагнитным и сейсморазведочным материалам позволяет оценить отметки горизонтов основания чехла на уровне приблизительно 18–20 км. Неопределённости с установлением положения подошвы осадочного чехла и ряда других границ раздела, как представляется автору, обусловлены не только сверхглубинными структурными условиями, но, главным образом, связаны с экранированием сейсмического сигнала «аномальными» горизонтами, представленными, как показывают исследования, базальтоидными интрузиями — силами различной мощности [1, 2]. В зависимости от их количества в разрезе вмещающих отложений суммарный эффект экранирования перекрытых силами комплексов может изменяться по площади.

В этой связи изучение распространения магматизма по сейсмостратиграфическим комплексам в разрезе и в площадном отношении, приуроченности и форм его проявления в пределах различных тектонических элементов имеет ключевое значение для расшифровки строения континентальной окраины и оценки масштабов плюмового магматизма в контексте геодинамических преобразований литосферы Арктики [3, 4]. Всё многообразие форм проявления магматизма в осадочном чехле непосредственным образом оказывало влияние на процессы нефте- и газогенерации, миграции углеводородов и формирования их ловушек [5, 6].

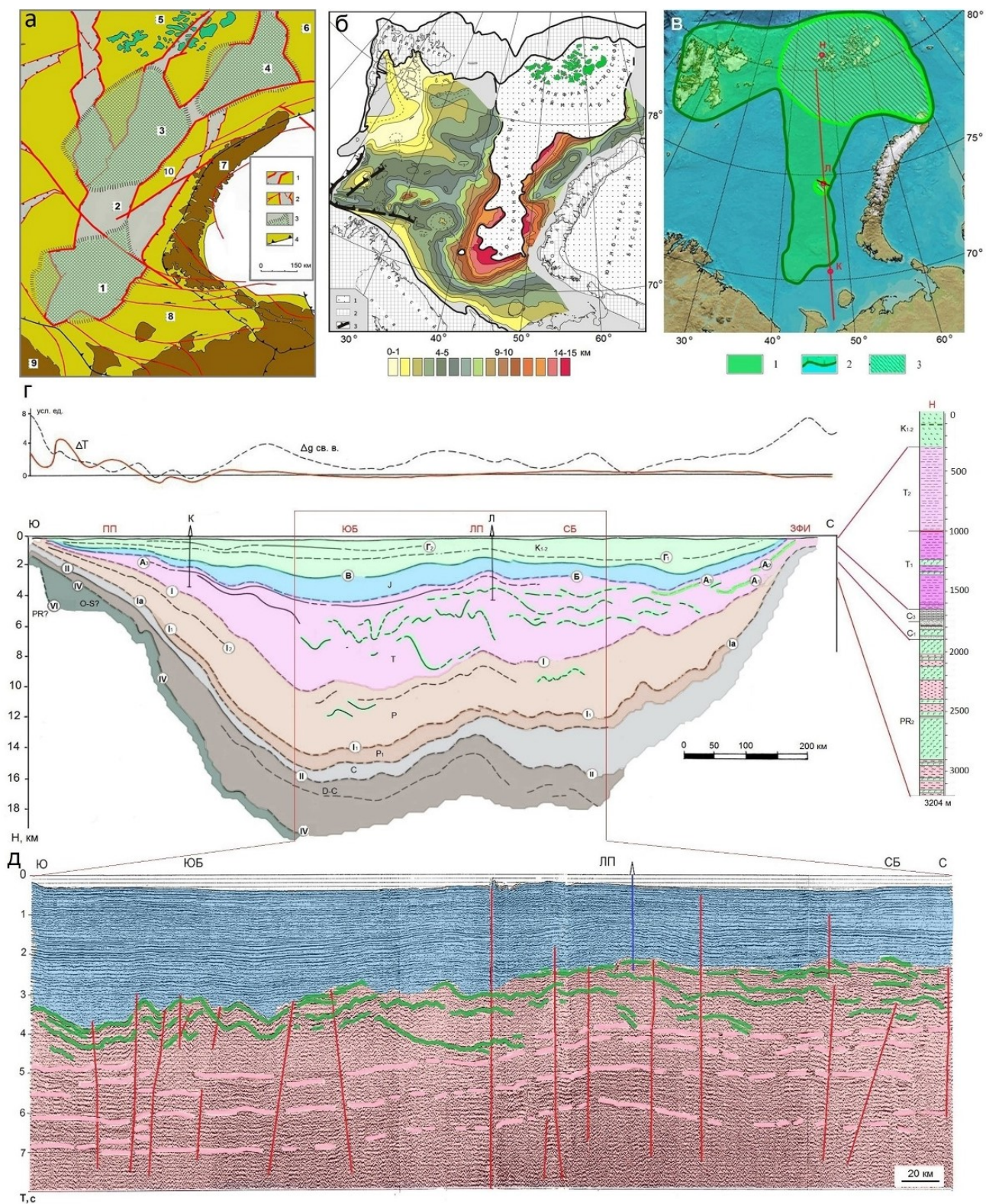


Рис. 1. Проявления позднемезозойского магматизма в структуре Баренцевоморской континентальной окраины (приводится по: [5]):

a — основные тектонические элементы Баренцевоморской континентальной окраины: 1 — границы троговой системы в основании осадочного чехла Восточно-Баренцевского мегабассейна, 2 — разломы различной кинематики, 3 — очертания границ бассейнов в составе мегабассейна, 4 — надвиги.

Цифровые обозначения бассейнов: 1 — Южно-Баренцевский, 3 — Северо-Баренцевский, 4 — Св. Анны (Северо-Новоземельский); 2 — Лудловское поднятие (перемычка), 5 — массив Земли Франца-Иосифа (ЗФИ), 6 — Карская (Северо-Карская) плита, 7 — Пайхойско-Новоземельский складчатый пояс, 8 — Печороморская плита, 9 — Балтийский щит;

b — структурная карта по поверхности (кровле) позднепалеозойских карбонатов (изогипсы отражающего горизонта Ia): 1 — область замещения карбонатов терригенными отложениями, 2 — области эрозии или отсутствия верхнепалеозойских карбонатов, 3 — положение бровки шельфа в раннем, среднем и позднем триасе;

в — ареал распространения позднемезозойских базальтоидных образований и положение линий разрезов со скважинами (рис. 1d) через Лудловское поднятие: 1 — площадное распространение интрузивного магматизма (преимущественно в виде силлов, 2 — контур магматического ареала, 3 — площадное распространение интрузивного магматизма в виде дайковых комплексов.

Скважины: К — Куренцовская, Л — Лудловская, Н — Нагурская;

г — глубинная пликтивная модель строения сейсмогеологического разреза Восточно-Баренцевского мегабассейна по меридиональному профилю Печороморская плита — арх. ЗФИ [1] и стратиграфические комплексы разреза скважины Нагурская (о. Земля Александры, арх. ЗФИ) [7]. На сейсмогеологическом разрезе буквами обозначены основные горизонты раздела осадочного чехла, зелёной подсветкой показаны некоторые аномальные отражающие горизонты; зелёные интервалы в разрезе скважины — магматические образования.

Буквенные обозначения: ПП — Печороморская плита, ЮБ — Южно-Баренцевский бассейн, ЛП — Лудловское поднятие, СБ — Северо-Баренцевский бассейн, ЗФИ — сводово-блоковое поднятие арх. Земля Франца-Иосифа;

д (интерпретация автора) — фрагмент сейсмического разреза (СМНГ), иллюстрирующий влияние пакетов силлов (зелёные горизонты) на волновую картину: синий интервал — отчётливое отображение структуры осадочного чехла в отсутствие аномальных горизонтов-силлов; коричневый интервал — отображение осадочного чехла под силовыми комплексами. Светлые полосы — условные горизонты

Fig. 1. Manifestations of late Mesozoic magmatism in the structure of the Barents Sea continental margin (according to: [5]). Structure of the Barents Sea continental margin:

a — Scheme of structural-tectonic elements of the eastern Barents Sea continental margin.

Symbols: 1 — boundaries of the trough system at the base of the sedimentary cover of the East Barents megabasin, 2 — faults of various kinematics, 3 — outlines of the boundaries of basins within the megabasin, 4 — thrusts.

Numbers on the scheme basins: 1 — South Barents, 3 — North Barents, 4 — St. Anna (North Novozemelsky);

2 — Ludlovskaya uplift, 5 — Franz Josef Land massif, 6 — Kara (North Kara) plate, 7 — Paikhoi-Novaya Zemlya fold belt, 8 — Pechora plate, 9 — Baltic shield.

b — structural map along the surface (roof) of Late Paleozoic carbonates (isohypses of reflecting horizon Ia).

1 — area of carbonate replacement by terrigenous sediments, 2 — areas of erosion or absence of Upper Paleozoic carbonates, 3 — position of the shelf edge in the Early, Middle and Late Triassic.

в — distribution area of Late Mesozoic basaltoid formations and the position of the section line with wells (fig. 1d): 1 — areal distribution of intrusive magmatism (mainly in the form of sills), 2 — contour of the magmatic area, 3 — areal distribution of intrusive magmatism in the form of dike complexes.

Wells: K — Kurentsovskaya, L — Ludlovskaya, N — Nagurskaya.

г — deep plicative model of the structure of the seismic geological section of the East Barents megabasin along the meridional profile of the Pechora Sea plate — arch. Franz Josef Land and stratigraphic complexes of the Nagurskaya well section (Alexandra Land island, arch. FZL). On the seismic geological section, letters indicate the main horizons of the section of the sedimentary cover; green highlighting shows some anomalous reflecting horizons. Green intervals in the well section are igneous formations. Letter designations: PP — Pechora Sea Plate,

YB — South Barents Basin, LP — Ludlovskoye Uplift, SB — North Barents Basin,

ZFI — arch-block uplift of the arch. Franz Josef Land.

д — fragment of a seismic section illustrating the influence of sill packages (green horizons) on the wave pattern: blue interval — a clear display of the structure of the sedimentary cover in the absence of anomalous are supposed conventional horizons

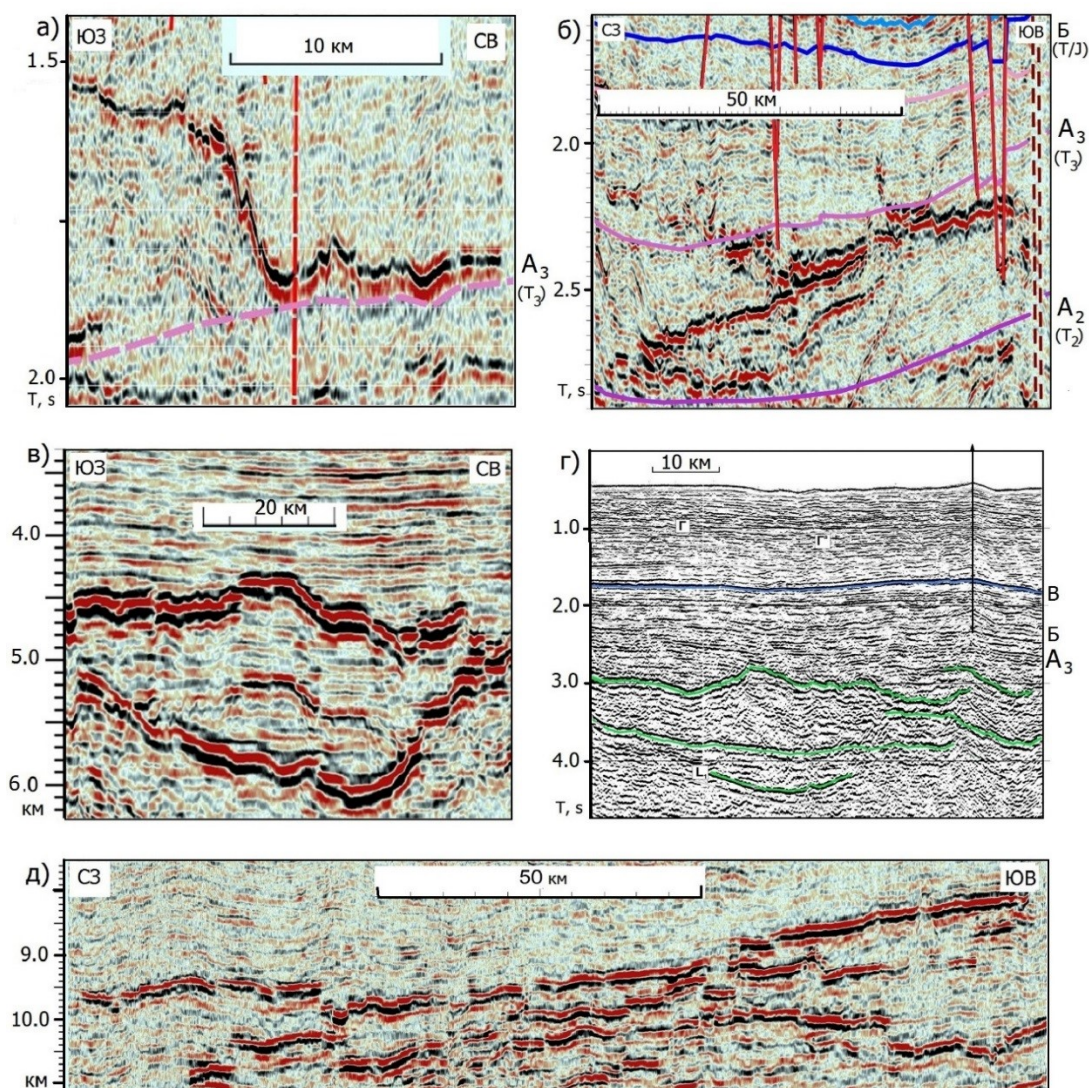


Рис. 2. Фрагменты сейсмических разрезов (приводятся по: [8, 9]), иллюстрирующие масштаб и разнообразие форм проявления базальтоидных интрузий (силлов) в осадочном чехле Восточно-Баренцевого мегабассейна.

Интерпретация автора: *a* — перескок интрузивного тела с одного стратиграфического уровня на другой в разрезе верхнего триаса на южном шельфовом обрамлении архипелага ЗФИ; *б* — ступенчатое положение пластовых тел силлов в терригенной толще среднего триаса в Северо-Новоземельском бассейне; *в* — антиформа и синформа пластовых интрузий в верхах триаса в районе Лудловской перемычки; *г* — иллюстрация развития комплекса силлов в разрезе триаса под структурой Штокманского газоконденсатного месторождения и положение одноименной скважины; *д* — развитие протяжённого пакета силлов субсогласного залегания в разрезе пермско-триасовых отложений депоцентра Южно-Баренцевого бассейна

Fig. 2. Fragments of seismic sections illustrating the scale and diversity of forms of manifestation of basaltoid intrusions — sills in the sedimentary cover of the East Barents megabasin: (based on: [8, 9]).

a — illustration of the jump of an intrusive body from one stratigraphic level to another in the Upper Triassic section on the southern shelf frame of the FJL; *б* — stepwise position of stratal sill bodies in the terrigenous sequence of the Middle Triassic in the North Novaya Zemlya basin; *в* — antiform and synform of strata intrusions in the upper Triassic in the area of the Ludlovsky bridge; *г* — illustration of the development of the sill complex in the Triassic section under the structure of the Shtokman gas condensate field and the position of the well of the same name; *д* — development of an extended package of subconformable sills in the section of Permian-Triassic deposits of the depocenter of the South Barents Basin

Фактический материал и методы

Представленные результаты, освещающие особенности распространения и формы проявления позднемезозойского базальтоидного магматизма в Баренцевоморском регионе, основаны на интерпретационном анализе комплекса геологических и геофизических данных. Они включают полученные в разные годы мурманскими геологоразведочными организациями (МАГЭ, СМНГ) профильные сейсмические разрезы региональных и рекогносцировочных исследований методом отражённых волн общей глубинной точки (МОВ ОГТ) [9], которые интерпретировались с учётом магнито- и гравиметрических данных (ПМГРЭ), а также материалов бурения (АМНГР) на шельфе и островах Баренцевоморской континентальной окраины.

Также использовали оригинальные данные полевых наблюдений на архипелаге ЗФИ и определения абсолютного возраста отобранных образцов базальтоидных образований [10–12]. Определение радиологического возраста образцов базальтоидов островов Земли-Франца Иосифа (ЗФИ) выполняли $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -методом по двум минералам — плагиоклазу и пироксену (pl, pi) в ИГМ СО РАН. В интеграции с результатами интерпретации материалов морских геолого-геофизических работ выполненные исследования позволили идентифицировать морфологию магматических образований на сейсмических разрезах и в аномальном магнитном поле, обосновать области и ареалы распространения магматизма и геодинамические обстановки этапов его проявления [3, 4].

Интрузивные комплексы — силлы и дайки — в структуре ВБМБ

Самая многочисленная группа хаотических тел силлов, отличающаяся разнообразием форм проявления, исходя из общерегиональной геологической ситуации и визуальной оценки, фиксируется на сейсмических разрезах в сейсмостратиграфическом диапазоне комплексов пород от верхнепермско-триасового до нижнемелового. На многочисленных сейсморазрезах через Южно- и Северо-Баренцевскую впадины отчётливо наблюдается, как в направлении с юга на север верхние горизонты пакетов интрузивных базальтоидных тел занимают всё более высокие стратиграфические и гипсометрические уровни в разрезе осадочного чехла (рис. 3, 4). Тем не менее магматические тела, если судить по скв. Нагурская (ЗФИ) (см. рис. 1), присутствуют и в комплексах протерозойского фундамента, и в значительно большем количестве, чем в осадочном чехле. Наряду с этим материалы сейсмоакустической записи в желобе Франц-Виктория вблизи арх. ЗФИ показывают отпрепарированные на новейшем этапе магматические образования, которые прорывают нижнемеловые отложения и экспонируются в виде останцовых фрагментов на поверхности дна моря [13–14].

Начиная с Лудловского поднятия и далее, в Северо-Баренцевской впадине концентрация пластовых тел силлов заметно нарастает, появляются узкие колоннообразные волновые аномалии, регистрируемые ниже динамичных отражающих горизонтов. Материалы сейсмических работ, аэро- и гидромагнитных съёмок и прямые аналогии с арх. ЗФИ позволяют предполагать, что эти зоны или колонны нарушения сейсмической записи, запечатлённые в структуре аномального магнитного поля, связаны с дайками и подводящими (питающими) каналами пластовых интрузивных образований [15–20].

Внутренняя сейсмическая картина этих вертикальных аномалий характеризуется хаотической и засвеченной записью, прерывающей прослеживание регулярных отражающих горизонтов. Столбообразные зоны потери корреляции осей синфазности при прослеживании от профиля к профилю протягиваются строго в северо-западном направлении в виде многочисленных эшелонированных звеньев, достигая длины до сотни километров [16, 17]. Системы разломов этих простираний берут начало от Новоземельского складчато-надвигового пояса. Наиболее заметной и крупной является Байдарацко-Хинлопенская зона сдвига. Сочетание многочисленных и разнообразных по типу проявления пластовых магматогенных тел, дайковых образований и подводящих каналов позволяют говорить о некоторых чертах сходства Лудловского поднятия (перемычки), разделяющего Южно- и Северо-Баренцевский бассейны, и сводово-блокового поднятия Земли Франца-Иосифа.

Образования триаса формируют основной объём мезозойских отложений, составляя в депоцентре ВБМБ 7–8 км, а вместе с верхней пермью мощность этого терригенного разреза может

достигать 10–12 км (см. рис. 1, 3, 4). Эти отложения характеризуются наиболее подходящими физико-механическими и литологическими свойствами для внедрения и размещения интрузивного магматизма и, соответственно, наибольшей концентрацией аномальных горизонтов (силлов) в разрезе и в площадном отношении.

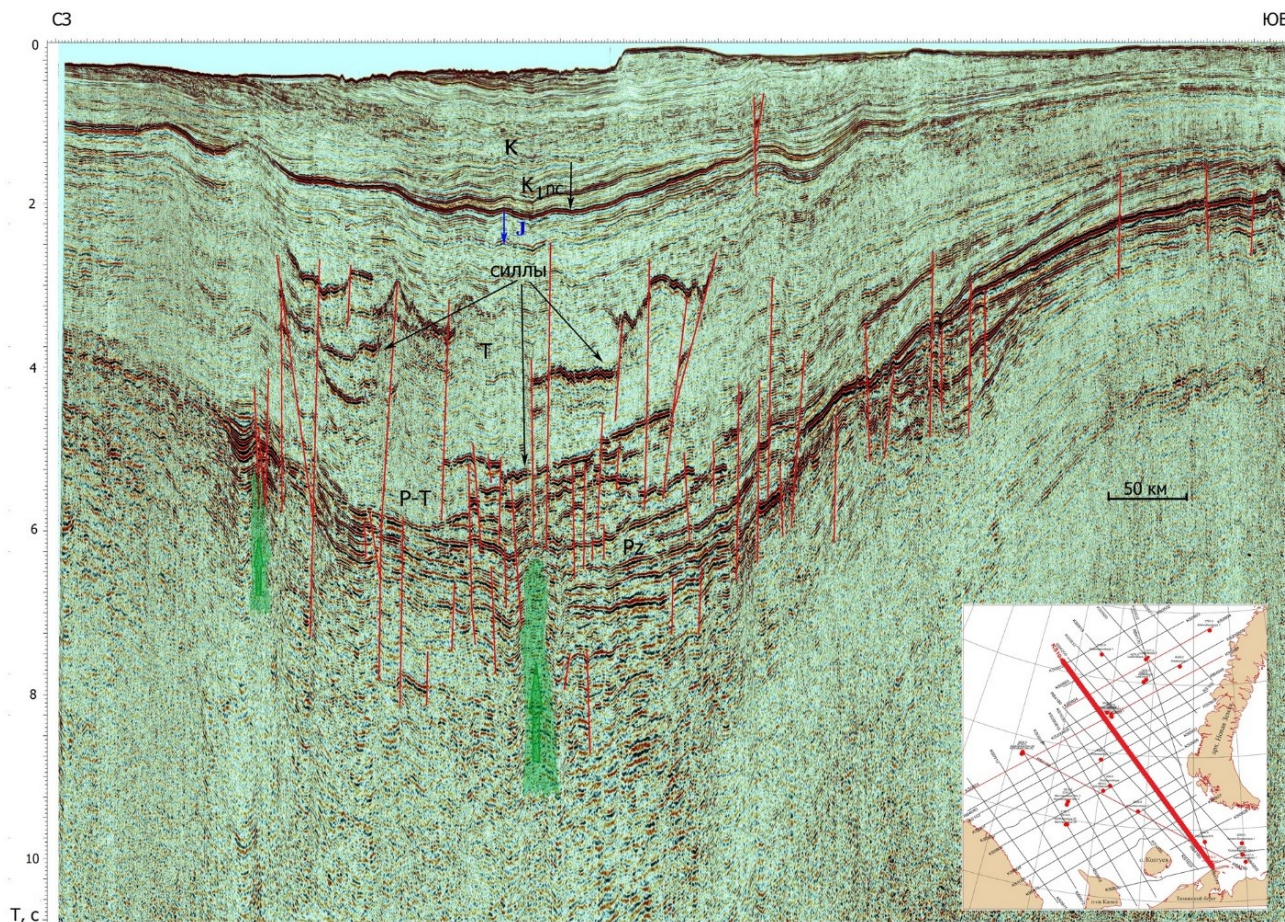


Рис. 3. Временной сейсмический разрез (МАГЭ) через Южно-Баренцевский бассейн по профилю Печороморский бассейн — зона Центрально-Баренцевских поднятий, иллюстрирующий размещение силлов в Южно-Баренцевском бассейне. Зелёным отмечены магнеподводящие каналы.

На врезке — изученность бассейна региональными сейсмическими профилями; красная линия — положение приведённого разреза, красные точки — морские скважины

Fig. 3. Time seismic section along the profile of the Pechora Sea basin — zone of the Central Barents uplifts, illustrating the placement of sills in the South Barents basin. Magma supply channels are marked in green.

Magma-conducting channels are marked in green. The inset shows the basin's exploration by regional seismic profiles; the red line is the position of the given section, and the red dots are offshore wells

Мощная линза этих отложений, надстраиваемая юрским и меловым периодами, базируется на верхнепалеозойских карбонатах, однако в строении кровли верхнепалеозойских карбонатов (опорный отражающий сейсмический горизонт Ia) в депозцентрах под впадинами Южно-, Северо-Баренцевской и Северо-Новоземельской (остров Святой Анны) на сейсмических разрезах не наблюдается сколько-нибудь ясной корреляции горизонта кровли, и он перестаёт прослеживаться как рефлектор, связанный с поверхностью карбонатного комплекса (см. рис. 1).

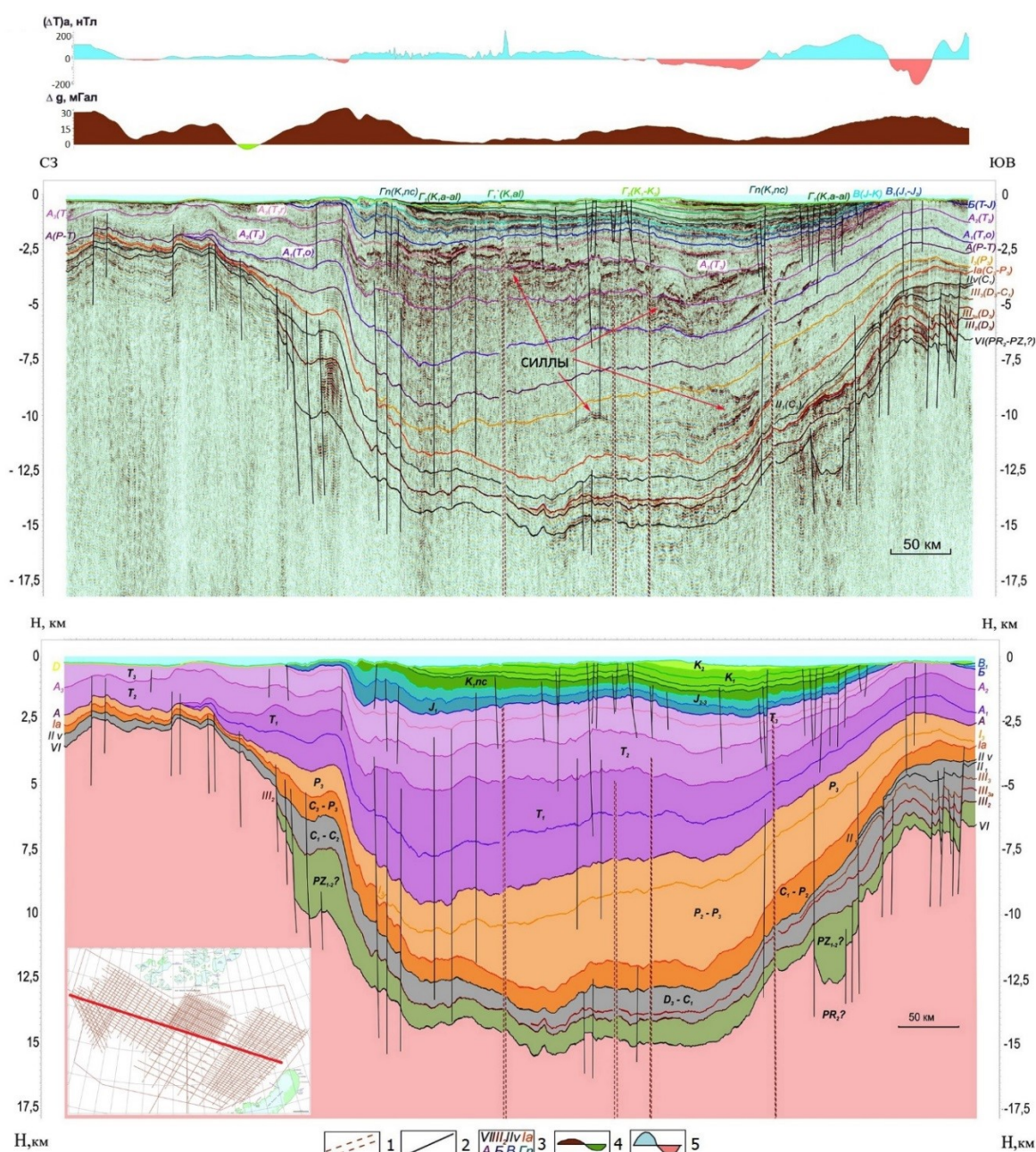


Рис. 4. Глубинный сейсмический разрез и его сейсмогеологический аналог по профилю Поднятие Мыса Желания (Предновоземельская структурная область) — региональная ступень Франц-Виктория (по материалам МАГЭ), иллюстрирующие строение Северо-Баренцевого бассейна и проявление базальтоидного магматизма в виде силлов, даек и магмоподводящих каналов (зоны потери корреляции сейсмической записи):

1 — дайки и подводящие каналы, 2 — разломы, 3 — сейсмокомплексы и отражающие горизонты, 4 и 5 — графики естественных физических полей. На врезке — изученность разреза сейсмическими профилями, красная линия — положение приведённого разреза

Fig. 4. A deep seismic section and its seismogeological analogue along the profile of the Cape Zhelaniya Rise (Pre-Novaya Zemlya structural region) — Regional Franz Victoria Stage (MAGE), illustrating the structure of the North Barents Basin and the manifestation of basaltoid magmatism in the form of sills, dikes and magma supply channels (zones of loss of correlation of the seismic record): 1 — dikes and supply channels, 2 — faults, 3 — designations of seismic complexes and reflecting horizons, 4 and 5 — graphs of natural physical fields. The inset shows the extent of the section's exploration using seismic profiles; the red line shows the position of the section shown

Ареал развития аномальных рефлекторов — силлов, прослеживаемый из Южно-Баренцевской впадины вплоть до арх. ЗФИ и впадины Святой Анны, совпадает с областью отсутствия (прекращения корреляции) горизонта Ia (или с «зиянием» в кровле палеозойских карбонатов) в ВБМБ. Очевидно, что в региональном плане ареал силлов занимает централизованную полосу мегабассейна, придерживаясь его депоцентра и расширяясь к арх. ЗФИ. Таким образом, площадное распространение силлов как бы повторяет конфигурацию лежащей в основании мегабассейна троговой системы и, вместе с тем, маркирует область отсутствия или замещения карбонатов позднего палеозоя.

Силлы Лудловского поднятия (перемычки)

Наибольшее количество пластовых тел базальтоидов, по данным сейсморазведочных разрезов как прежних лет, так и новейших исследований, отмечается в районе Лудловского поднятия и далее по направлению к ЗФИ (см. рис. 1, 4). Предположения о том, что «аномальные сейсмические горизонты» в разрезе осадочного чехла ВБМБ обусловлены базальтоидными интрузиями, были высказаны в ряде работ [21–24], но геологическое подтверждение они получили только тогда, когда в единственной из морских скважин — Лудловской на одноимённой перемычке в центральной части ВБМБ были вскрыты в разрезе триаса два самых верхних прослоя базальтов с залеганием кровли на глубинах 3365 и 3508 м [1, 2] (рис. 5).

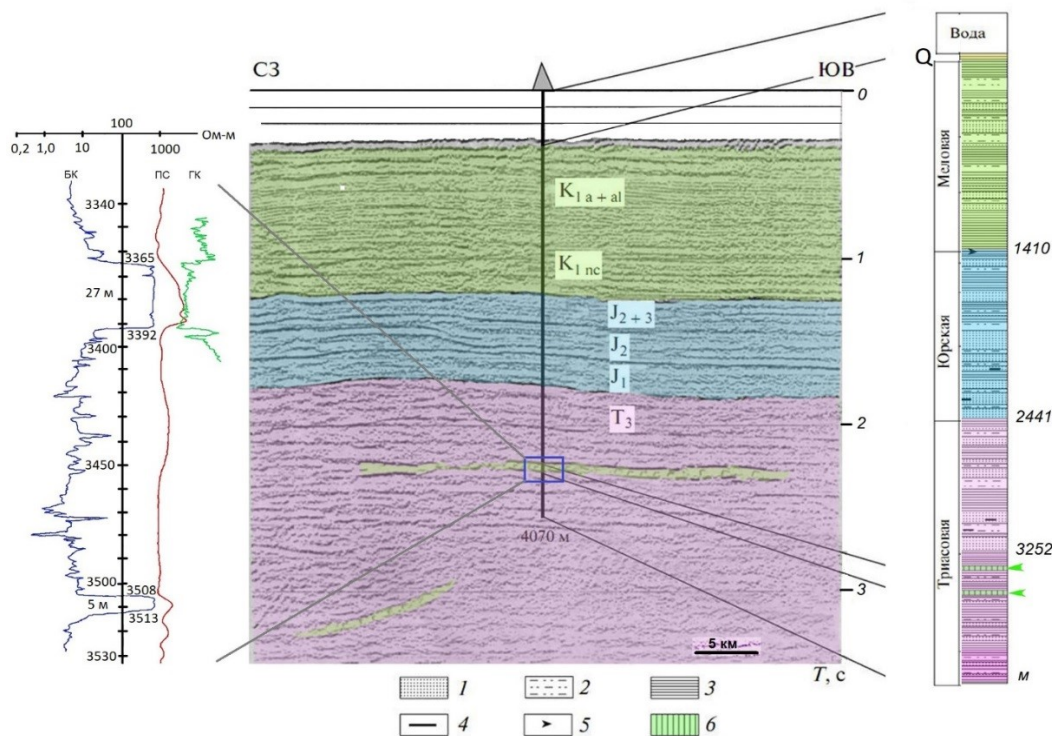


Рис. 5. Сопоставление сейсмического разреза Лудловской площади (фрагмент профиля 088513, СМНГ, положение на рис. 1а) и разреза скважины (с фрагментом каротажной диаграммы), вскрывшей пластовые тела силлов в терригенном комплексе триаса (по: [5]). Положение силлов в разрезе скважины показано стрелками. Литологический состав: 1 — песчаники, 2 — алевриты, 3 — глины, аргиллиты, 4 — угленосность, 5 — битуминозные аргиллиты, 6 — базальты

Fig. 5. Comparison of the seismic section (fragment of the profile 088513) of the Ludlovskaya area and the section of the well (with a fragment of the logging diagram) that revealed the formation bodies of sills in the Triassic terrigenous complex (based on: [5]). The arrows show the position of the sills in the section of the well. Lithological composition: 1 — sandstones, 2 — siltstones, 3 — clays, mudstones, 4 — carboniferous, 5 — bituminous mudstones, 6 — basalts

Изучение подтвердило, что силлы представлены преимущественно габбро-диабазами и габбро-долеритами. Определение их абсолютного возраста К-Ar-методом показало, что они принадлежат разным генерациям: верхний силл имеет возраст 131–139 млн лет (неоком: готерив — валанжин), а второй, расположенный на 143 м ниже, — 159 млн лет (оксфорд). Определения были выполнены в лаборатории геохронологии и геохимии изотопов Геологического института КНЦ АН СССР И. Л. Каменским. Мощность этих пластов базальтов оценивается в 27 и 5 м соответственно (см. рис. 5), однако на сейсмическом разрезе отражение получил лишь верхний силл, так как тела менее 10 м, ввиду разрешающей способности, МОВ ОГТ не фиксируются [17, 18]. На всех приведённых разрезах отмечаются только наиболее мощные тела базальтоидов. Можно предположить, что с учётом тонких пластовых тел их число значительно больше.

Вскрытые морской скважиной пласты базальтоидов обладают высокими относительно вмещающих пород значениями кажущегося электрического сопротивления: от 700 до 2000 Ом·м. Пластовые тела базальтоидов изучались по шламовому материалу и визуально представляют собой серую с зеленоватым оттенком полнокристаллическую породу с офитовой, габбро-офитовой и долеритовой структурой. Петрографические исследования выявили, что в их вещественном составе преобладают плагиоклаз (60 %) и моноклинный пироксен (33 %) (табл.). Ромбический пироксен, содержание которого составляет 5 %, в шлифах диагностируется с 70 %-й вероятностью из-за слабого плеохроизма. Среди акцессорных минералов присутствуют ильменит, титаномagnetит и биотит. По химическому составу пластовые тела силлов близки к трапповым образованиям архипелагов ЗФИ (интрузии в скв. Нагурская) и острова Зап. Шпицберген (рис. 6) [1, 2, 25].

Химический состав поднемезозойских силлов габбродолеритов из скважин на шельфе Баренцева моря и архипелагах Земля Франца Иосифа и Шпицберген
Chemical composition of late Mesozoic gabbrodolerites from wells on the Barents Sea shelf and on the Franz Josef Land and Spitsbergen archipelagos

Компонент	Скважина				
	Лудловская-1		Нагурская-1		Западный Шпицберген
	1	2	3	4	5
SiO ₂	54,40	50,16	54,34	50,38	48,00
TiO ₂	2,13	2,78	1,56	2,10	3,00
Al ₂ O ₃	13,27	12,48	14,28	13,20	15,00
Fe ₂ O ₃	4,76	5,42	2,56	4,08	4,92
FeO	7,75	8,81	7,40	9,33	9,37
MnO	0,25	0,31	0,17	0,23	0,20
MgO	4,01	3,77	3,97	5,41	5,19
CaO	7,48	7,36	5,70	9,51	8,81
K ₂ O	1,41	0,80	2,73	1,05	0,44
Na ₂ O	2,88	2,73	3,70	2,38	2,58
P ₂ O ₅	0,29	0,40	0,19	0,23	0,41
П.п.п.	1,62	4,94	3,40	2,15	1,70
Σ	100,2	99,96	100,00	100,00	99,62

Таким образом, результаты бурения на шельфе и островах подтвердили, что в литолого-фациальном отношении наиболее предпочтительные условия для размещения силлов имели место в толщах триасовых отложений, характеризующихся разнообразием терригенного состава. В толщах с преобладанием карбонатов (палеозой) присутствия пластовых тел магматогенных образований не зафиксировано. Интересно, что, несмотря на значительные различия в строении, тектонической позиции и истории преобразования литосферы ВБМБ и Центрально-Шпицбергенского бассейна, пластовые тела силлов в последнем по сейсмическим и буровым данным фиксируются в разрезах практически на тех же сейсмостратиграфических уровнях, приуроченных к триасу [25].

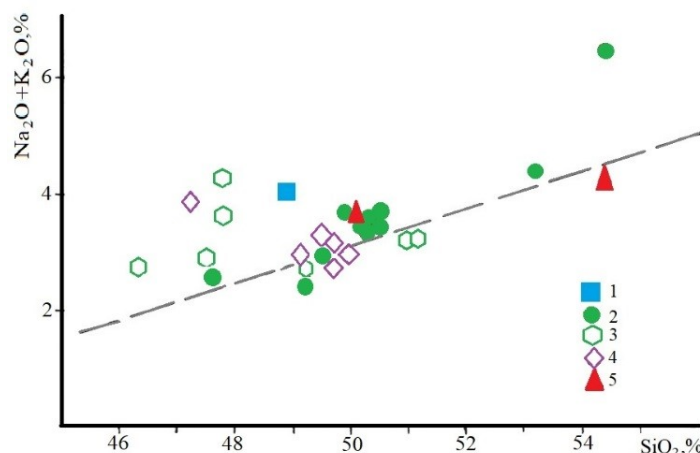


Рис. 6. Положение фигуративных точек габброидных пород мезозойских силлов в скважинах на шельфе Баренцева моря и на архипелагах Земля Франца-Иосифа и Шпицберген. Скважины: 1 — Грумантская (Зап. Шпицберген), 2 — Нагурская (остров Земля Александры), 3 — Хейса, 4 — Северная (арх. ЗФИ); 5 — Лудловская (Баренцево море) [2]

Fig. 6. Position of figurative points of gabbroic rocks of Mesozoic sills in boreholes on the shelf of the Barents Sea and on the Franz Josef Land and Spitsbergen archipelagos. Boreholes: 1 — Grumantskaya (West Spitsbergen), 2 — Nagurskaya (Alexandra Land Island), 3 — Hayes, 4 — Severnaya (FZL archipelago); 5 — Ludlovskaya (Barents Sea) [2]

Магматические образования Земли Франца-Иосифа

Характеризуя базальтоидный магматизм рассматриваемой континентальной окраины, следует заметить, что в ареал его проявления входят архипелаги ЗФИ и Шпицберген. На сводово-блоковом поднятии ЗФИ, в отличие от Шпицбергена, позднемезозойский магматизм установлен во всех возможных формах, сохранившихся, несмотря на масштабные денудационно-эрозионные процессы, связанные с кайнозойским аплифтом и экзарационной деятельностью ледников. Здесь многочисленные дайки, покровы и силлы зафиксированы в обнажениях и вскрыты бурением параметрических скважин (рис. 7). Встречаются штоки, наиболее представительным примером которых является скала Рубини на острове Гукера.

На батиметрических и геологической картах отчётливо просматривается, что в генеральном композиционном отношении архипелаг ЗФИ разделён проливом Маркема и его северо-западным продолжением, между островами Артура и Харли, на две главных группировки островов — юго-западную и северо-восточную. Так же разобщён на две части шельфовый сегмент архипелага, заключённый между ним и котловиной Нансена, с некоторым отклонением к северу разделительной полосы. Это заключение подтверждается и при анализе карты аномального магнитного поля (АМП). Преобладающие на ней линейные магнитные аномалии архипелага и окружающего его шельфа имеют северо-западные простирания, а отмеченная выше осевая разделительная зона отчётливо выражена полосой с отрицательным фоном, на котором наблюдается серия отрезков менее заметных положительных полосовых аномалий (рис. 8), при этом признаки, которые бы свидетельствовали о наличии линеаментов северо-восточного простирания в структуре АМП архипелага ЗФИ, практически не просматриваются.

На схемах районирования арх. ЗФИ в его строении, тем не менее, традиционно отображают три основных структурно-фациальных зоны — Александровскую, Вильчевскую и Сальмскую с северо-восточным простиранием (см. рис. 7б). Разделяющие их условные (?) линии обозначены одновременно и как границы структурно-фациальных зон, и как границы структурных элементов [29, 30]. Эти границы и разломы северо-восточного простирания гипотетически связывают как унаследованные от байкальского тектонического плана фундамента.

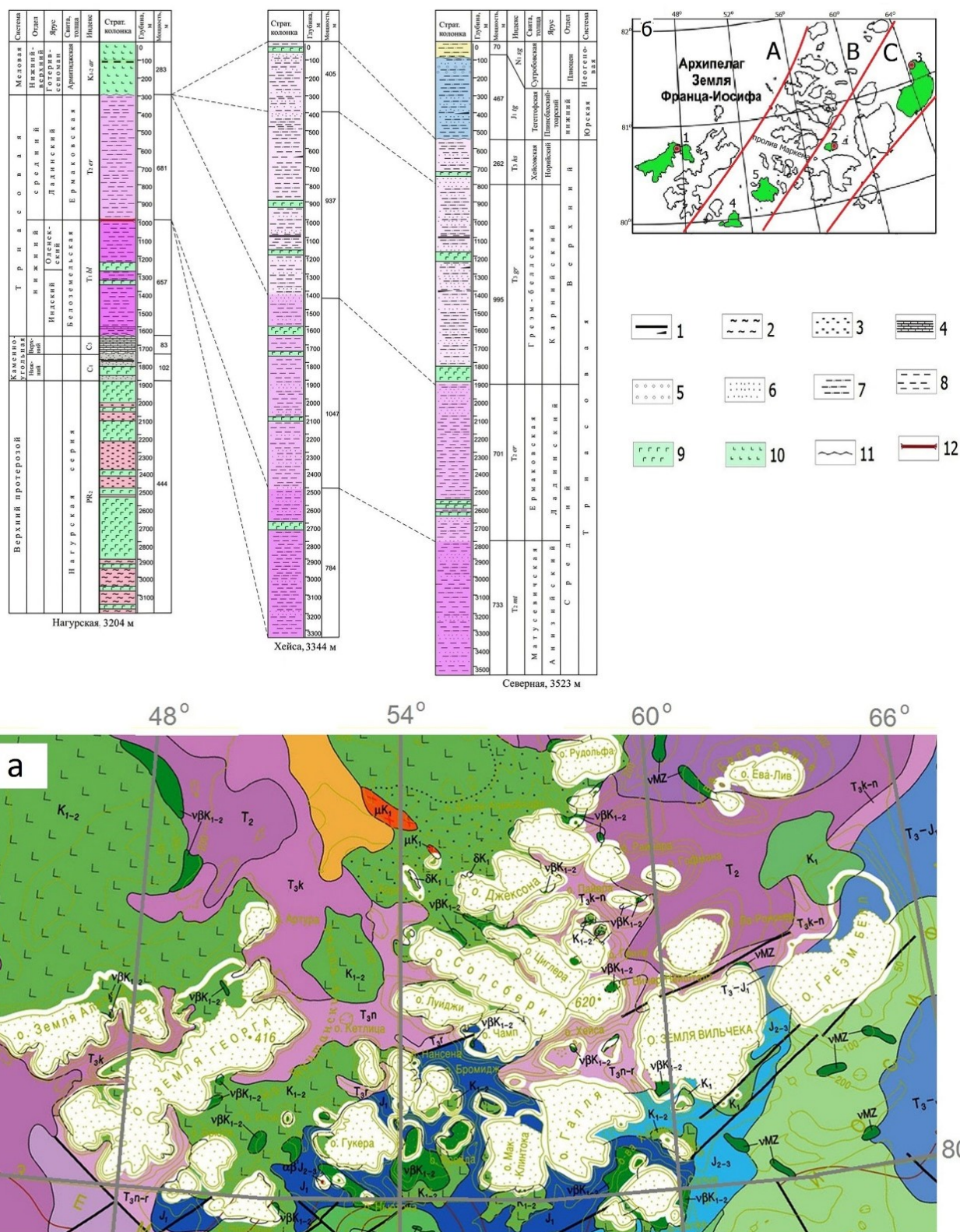


Рис. 7. Литолого-стратиграфическая представительность разрезов скважин параметрического бурения на островах арх. Земля Франца-Иосифа (приводится по: [7, 26]).

a — геологическая карта сводово-блокового поднятия ЗФИ (приводится по: [7, 27, 28]);
б — схема расположения скважин, структурно-фациальных зон и исследуемых островов: 1 — остров Земля Александры (скв. Нагурская), 2 — остров Хейса (скв. Хейса), 3 — остров Грэм-Белл (скв. Северная), 4 — остров Нортбрук, 5 — остров Гукера. Структурно-фациальные зоны: А — Александровская, В — Вильчевская, С — Сальмская. Породы: 1 — угли, 2 — кварц-серицитовые микросланцы, филлиты, 3 — микрокварциты, 4 — известняки, 5 — конгломераты, 6 — песчаники, 7 — алевролиты, 8 — аргиллиты, 9 — интрузивные породы основного состава, 10 — базальты, 11 — стратиграфическое несогласие, 12 — тектонический контакт

Fig. 7. Lithological and stratigraphic representativeness of sections of parametric drilling wells on the islands of the Franz Josef Land ([7, 26] with changes).

a — geological map of the uplift of the Franz Josef Land [7, 27, 28];
б — the scheme of the location of wells, structural-facies zones and the studied islands: 1 — Alexandra Land Island (hole Nagurskaya), 2 — isl. Hayes (hole Hayes), 3 — isl. Graham-Bell (hole North), 4 — isl. Northbrook, 5 — isl. Hooker. Structural-facies zones: A — Alexandrovskaya, B — Vilchekovskaya, C — Salmskaya. 1 — coals, 2 — quartz-sericite microshales, phyllites; 3 — microquartzites, 4 — limestones, 5 — conglomerates, 6 — sandstones, 7 — siltstones, 8 — mudstones, 9 — mafic intrusive rocks, 10 — basalts, 11 — stratigraphic unconformity, 12 — tectonic contact

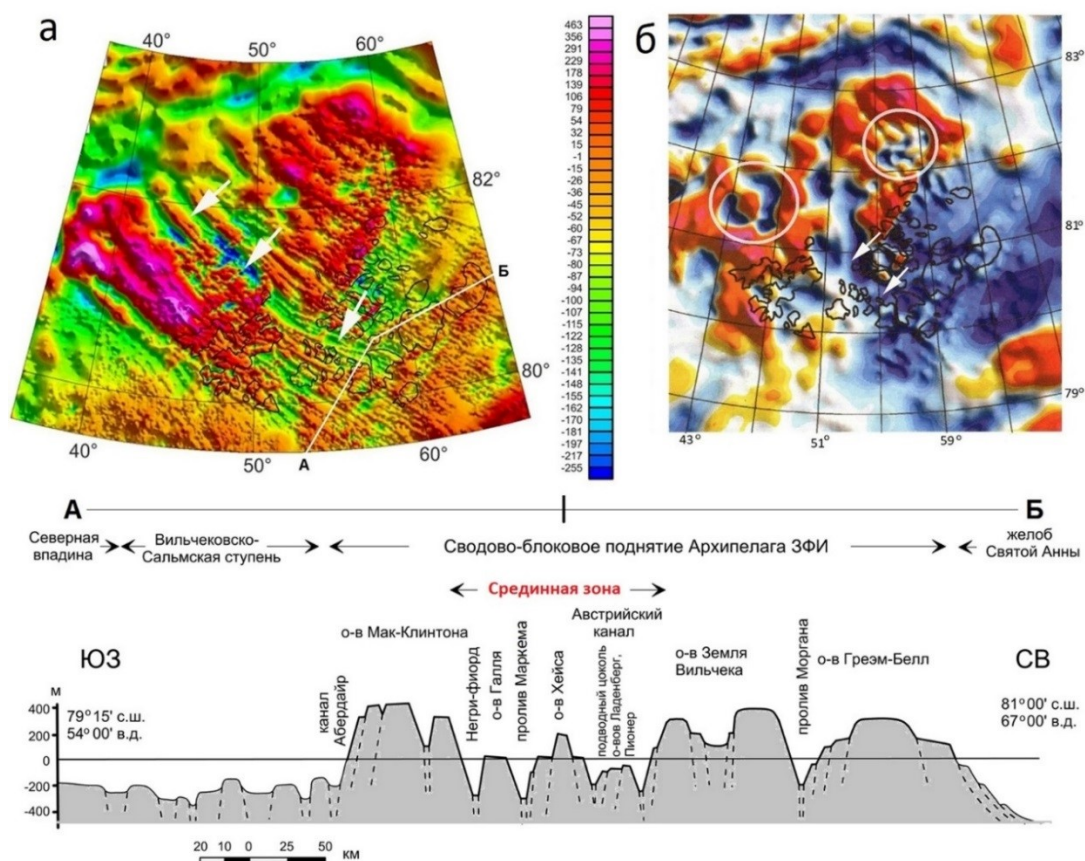


Рис. 8. Структура аномального магнитного поля архипелага Земля Франца-Иосифа по данным ПМГРЭ (*a*), литосферные магнитные аномалии (*б*) и структурно-геоморфологический профиль, составленный по батиметрическим данным (внизу). Белые стрелки указывают на положение срединной разделительной зоны, белые круги — магнитные домены осложнены кольцеобразными магматическими структурами; А–В — линия геоморфологического профиля

Fig. 8. The structure of the anomalous magnetic field of the Franz Josef Land archipelago according to the PMGE data (*a*), lithospheric magnetic anomalies (*б*) and the structural-geomorphological profile compiled from bathymetric data (bottom). White arrows indicate the position of the median dividing zone, white circles indicate magnetic domains complicated by ring-shaped magmatic structures; А–В — geomorphological profile line

В нашем понимании рассматриваемая геотектоническая ситуация обусловлена ещё и тем, что, судя по распространению и стратиграфическому диапазону отложений, слагающих осадочный чехол архипелага, блоки его фундамента ступенчато сброшены по направлению к депоцентру ВБМБ. Наличие мощного комплекса триасовых образований на архипелаге даёт основание считать, что этот район, если не входил в состав Восточно-Баренцевской мегадепрессии, то, по меньшей мере, являлся её прибортовой зоной с соответствующими режимами и темпами осадконакопления, а также основными чертами траппового магматизма J-K-возраста.

Анализ АМП в определённой мере позволяет разобраться в структуре арх. ЗФИ, имеющей, казалось бы, беспорядочные проявления фаз базальтоидного магматизма (см. рис. 8). Главной его особенностью является полосовой характер с наличием протяжённых (до 400–450 км) и согласованных положительных линейных аномалий исключительно северо-западного простирания. Интенсивность некоторых из них может достигать в северо-западной половине сводово-блокового поднятия, особенно в его шельфовом сегменте, свыше 300–400 нТл и заметно снижается в юго-восточной части с тенденцией нарушения непрерывности. Таким образом, в структуре АМП получили отображение многочисленные тела даек базальтоидов, насыщающие разрез поднятия арх. ЗФИ, выходы которых в ряде случаев запечатлены в рельефе островов и на космоснимках. Наибольшее количество даек установлено на островах Хейса, Земля Вильчека, Грэм-Белл, а единичные проявления — на островах Земля Александры, Галля и др. Вероятнее всего, поэтому в АМП зафиксированы и многочисленные подводящие магматические каналы, поставлявшие расплавы для значительно более распространённых и преобладающих по площади силлов и покровов, бронирующих разрезы отложений ряда островов архипелага и прилегающих шельфовых районов.

Другая особенность АМП с точки зрения районирования заключается в его дифференцированности в генеральном плане на две значительных по площади области — юго-западную и северо-восточную превосходящую первую по площади почти в два раза. В обеих отмечается присутствие (особенно в шельфовом сегменте, соседствующем с Евразийским бассейном) довольно крупных, по всей видимости объединённых и сливающихся, аномалий наиболее высокой для поднятия ЗФИ интенсивности — около 300–400 нТл. Эти области, как отмечалось выше, разобщены практически сквозной полосой отрицательных значений с выраженными на её фоне тремя-четырьмя прерывистыми положительными аномалиями средней интенсивности. В осевой зоне полосы отмечается сближение двух линейных аномалий, которые, сливаясь, протягиваются вплоть до острова Хейса, где их продолжение имеет тенденцию к выклиниванию. Подобное заключение по результатам полевых наблюдений имеется по дайке Аметишовой на острове Хейса [29]. Характерно, что в северо-западной части осевой зоны на геологической карте получил отображение желобообразный канал, выработанный в триасовых и меловых образованиях и заполненный верхнепалеогеновыми-нижнемиоценовыми отложениями (рис. 7а), что делает его похожим, в том числе и по тектонической позиции, с желобом Франц-Виктория.

Две выделенные области с высокими значениями АМП, как показывают материалы геологических съёмок разных лет, представлены преобладающими среди других форм проявления базальтоидного магматизма телами покровов и силлов с наиболее древними по K-Ar-методу (раннемезозойскими) возрастами. Так, по опубликованным радиологическим данным, для юго-западной области имеются значения от 221,5 (Земля Георга) до 207,9 млн лет (Земля Александры), а для северо-восточной — от 220 (остров Рудольфа) до 180,9–187 млн лет (острова Рудольфа и Джексона) [7, 27, 28, 31]. Естественно, в этих областях имеются магматические проявления и более молодых эпох. Так, возраст некоторых силлов из скважин Северная и Нагурская по U/Pb-датировкам оценивается в 122,7 и 122,2±1,1 млн лет соответственно [32].

Отмеченные особенности приуроченности наиболее ранних проявлений базальтоидного магматизма к крайним частям выделенных областей подтверждаются результатами наших исследований [4, 10, 11]. На острове Земля Александры на северном побережье бухты Северная мы получили $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датировки методом ступенчатого прогрева по минеральным фракциям трёх покровов в двух разрезах (рис. 9).



Рис. 9. Изученные обнажения базальтоидов и геологическая ситуация северного побережья бухты Северная, Земля Александры, ЗФИ.

Обнажения: *a* — верхнего покрова, *б* — верхнего покрова с внедрённой дайкой, *в* — среднего покрова, *г* — нижнего покрова у уреза воды (фото Э. В. Шипилова); *д* — фрагмент геологической карты архипелага ЗФИ и острова Земля Александры [33]; *е* — схема геологического строения по результатам исследований: 1 — раннемеловые базальты и долериты, 2 — юрские базальты, 3 — линеаменты зоны Нагурского разлома, 4 — точки отбора проб [12]

Fig. 9. Studied basaltoid outcrops and geological situation of the northern coast of Severnaya Bay, Alexandra Land, Franz Josef Land.

Outcrops: *a* — the upper flow, *б* — the upper flow with an embedded dike, *в* — the middle flow, *г* — the lower flow at the water's edge (photo by Shipilov E. V.); *д* — fragment of the geological map of the ZFI, Alexandra Land [33]; *е* — scheme of the geological structure based on the results of research: 1 — Early Cretaceous basalts and dolerites, 2 — Jurassic basalts, 3 — lineaments of the Nagursky fault zone, 4 — sampling points [12]

В первом (образцы 25–23–24) для нижнего покрова миндалекаменных плагиоклазовых базальтов со столбчатой отдельностью (обр. 24) получены значения $189,9 \pm 3,1$ млн лет. Возраст среднего покрова базальтов (обр. 23) и долеритов с глыбовой отдельностью оценивается в $156,5 \pm 5,3$ млн лет. Самый верхний покров гигантостолбчатых базальтов (обр. 25) имеет средневзвешенное значение возраста по двум минералам (p_l и p_i) — 135 ± 4 млн лет. По второму разрезу (обр. 26–27–28) возраст нижнего покрова (обр. 26) составляет $196,5 \pm 6,3$ млн лет (p_l), среднего (обр. 27) — $152,6 \pm 14,5$ млн лет (p_l) и верхнего (обр. 28) — $131,2 \pm 5,9$ млн лет (среднее взвешенное по p_l и p_i).

По мнению автора, последовательная наложенность покровов, видимая мощность которых составляет 60 м и более, в результате «суммарного» эффекта обусловила контрастную выраженность их ареала высокими положительными значениями магнитных аномалий (см. рис. 8). В скважине Нагурской мощность пробуренных покровов составляет около 300 м, а толщина многочисленных тел силлов в верхнепротерозойском фундаменте может достигать нескольких сотен метров (см. рис. 7). Более ранние исследования показали, что вскрытые в интервале глубин 1300–3200 м четыре силла также имеют раннемезозойский (юрский) возраст: 151 ± 11 , 192 ± 13 , 170 ± 12 и 203 ± 14 млн лет (K-Ar-метод, вал) [34].

Полученные нами результаты по $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возрасту покрова базальтов острова Гукера, формирующего плато Седова, — $189,1 \pm 11,4$ млн лет (p_l) — также подтверждают изложенную схему пространственной приуроченности раннемезозойских базальтоидов в контексте районирования АМП (рис. 10). Вместе с тем эти данные указывают, что возраст покрова острова Гукера и возраст нижнего покрова острова Земля Александры — $189,9 \pm 3,1$ млн лет — имеют достаточно близкие раннеюрские возраста фаз проявления магматизма.

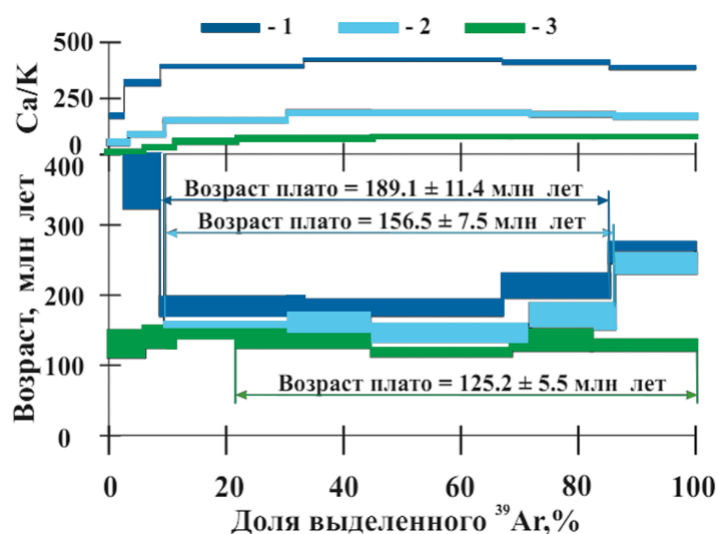


Рис. 10. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст и Ca/K спектры для плагиоклазов из базальтов островов юго-западной и центральной частей архипелага Земля Франца-Иосифа [4].
Плагиоклазы: 1 — из базальта острова Гукера; 2 — из базальта острова Земля Александры;
3 — из долерита дайки «Гряда Аметистовая» острова Хейса

Fig. 10. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age and Ca/K spectra for plagioclases from basalts of islands in the southwestern and central parts of the Franz Josef Land [4].
1 — plagioclase from Hooker Island basalt; 2 — plagioclase from Alexandra Land basalt;
3 — plagioclase from dolerite dyke “Amethyst Ridge” of Hayes Island

Обращает внимание датирование пород обнажения скалы Рубини. По общему мнению, это позднеюрско-раннемеловой базальтоидный шток на южном борту бухты Тихой (рис. 11). По данным

Е. А. Кораго с соавторами [29], радиологический возраст умеренно-щелочных микродиоритов этого феноменального магматического образования по Sm-Nd (изохронный метод) составляет 158 ± 60 млн лет, по K-Ar-методу (плагноклаз) — 145 ± 7 и 103 ± 5 млн лет (K-Ar, вал). По результатам $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования пироксена и плагноклаза получены значения $120,7 \pm 1,3$ и $134,0 \pm 2,9$ млн лет соответственно [35]. Разброс значений, видимо, позволяет утверждать, что штук скалы Рубини представлен разновозрастными магматическими образованиями.

Определение возраста магматических пород из покрова мыса Флора острова Нортбрук позволило получить для плагноклаза из базальтов плато с возрастом 158 ± 9 млн лет (рис. 12), что вполне сопоставимо с позднеюрскими («средними») покровами острова Земля Александры — $156,5 \pm 7,5$ (см. рис. 10) и $152,6 \pm 14,5$ млн лет. Следовательно, можно утверждать, что покровы островов Нортбрук и Гукера схожи в возрастном отношении с покровами острова Земля Александры, что в целом подтверждает связь наиболее высокоамплитудных АМП с районами раннемезозойского магматизма.

Исходя из имеющегося материала, следующим логическим шагом районирования магнитного поля и установления его связей с возрастными и формами проявлений магматизма является рассмотрение толеитового магматизма срединной зоны архипелага, разделяющей описанные выше области с наиболее древними датировками магматогенных образований. В этом отношении наибольший интерес представляет остров Хейса, на котором были изучены дайки, покров и силлы (рис. 13).

Возраст образца 90 из базальтового покрова, бронирующего остров Хейса, оценивается по $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ в $128,8 \pm 12,1$ млн лет (р), как и остров Ферсмана. Нижний силл (обн. 80) был внедрён в осадочный разрез острова $126,2 \pm 2,8$, а верхний (обн. 81) — $131,6 \pm 2,4$ млн лет назад. Дайки острова расположены субпараллельно друг другу, за исключением дайки «Сквозная», дистанция между ними составляет 2–4 км. Наиболее молодая дайка острова — «Аметистовая» имеет возраст $125,2 \pm 5,5$ млн лет (обн. 40) (см. рис. 10), наиболее древняя — «Сквозная» (обн. 79, обр. 79–4) — $138,1 \pm 2,6$ млн лет. Возраст даек «Кривая» (обн. 74, обр. 74–2) — $133,5 \pm 4,1$ млн лет, «Разбитая» (обн. 65, обр. 65–3) — $133,8 \pm 3,4$ млн лет [10–12].

Все приведённые значения $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возрастов — средневзвешенные по р1 и р2. Для одного из силлов была опубликован возраст 137 ± 16 млн лет (Sm/Nd), для дайки «Сквозная» — 124 ± 1 ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, вал) [31, для дайки «Разбитая» — 138 ± 10 млн лет (K-Ar, вал) [36]. За исключением «Аметистовой», все остальные дайки острова Хейса являются более древними по отношению к его покрову. Вулканические образования раннемезозойского или юрского возраста на острове ни бурением скважины, ни нашими исследованиями не обнаружены.

Полученные данные позволяют заключить, что акцентированная локализация шести даек на сравнительно небольшой площади острова Хейса в зоне раздела двух областей, их субпараллельное простираие, сближенные значения возрастов и положение в общей структуре полосового магнитного поля указывают на существование на временном отрезке валанжин — баррем (ранний мел) отчётливо проработанной тектонической полосы растяжения, обусловленной, судя по всему, начальным развитием рифтовой зоны. Подтверждением этому служит построенный вкрест простираия линейных аномалий магнитного поля структурно-геоморфологический профиль, отчётливо отражающий клавишную грабен-горстовую картину строения рельефа островов в сочетании с донным рельефом, и положение срединной зоны арх. ЗФИ (см. рис. 8).

Несмотря на экзарационные и эрозионные преобразования рельефа, гравитационно-оползневую тектонику на профиле между островами Мак-Клинтона и Земля Вильчека ясно отображается рифтоподобная долина, практически симметричная относительно поднятия острова Хейса. Это даёт основание говорить об унаследованном характере новейшего рельефа и подтверждает наш вывод о срединном положении этой зоны растяжения земной коры на архипелаге [3, 4]. Об этом свидетельствуют и тренды изменения химического состава базитов вкрест простираия отмеченной рифтоподобной структуры [29]. Радиологическое датирование базальтов из даек острова Хейса как фрагмента срединной рифтовой зоны показывает, что осевое растяжение происходило в интервале от 138 до 124 млн лет (начало раннего мела: валанжин — баррем).

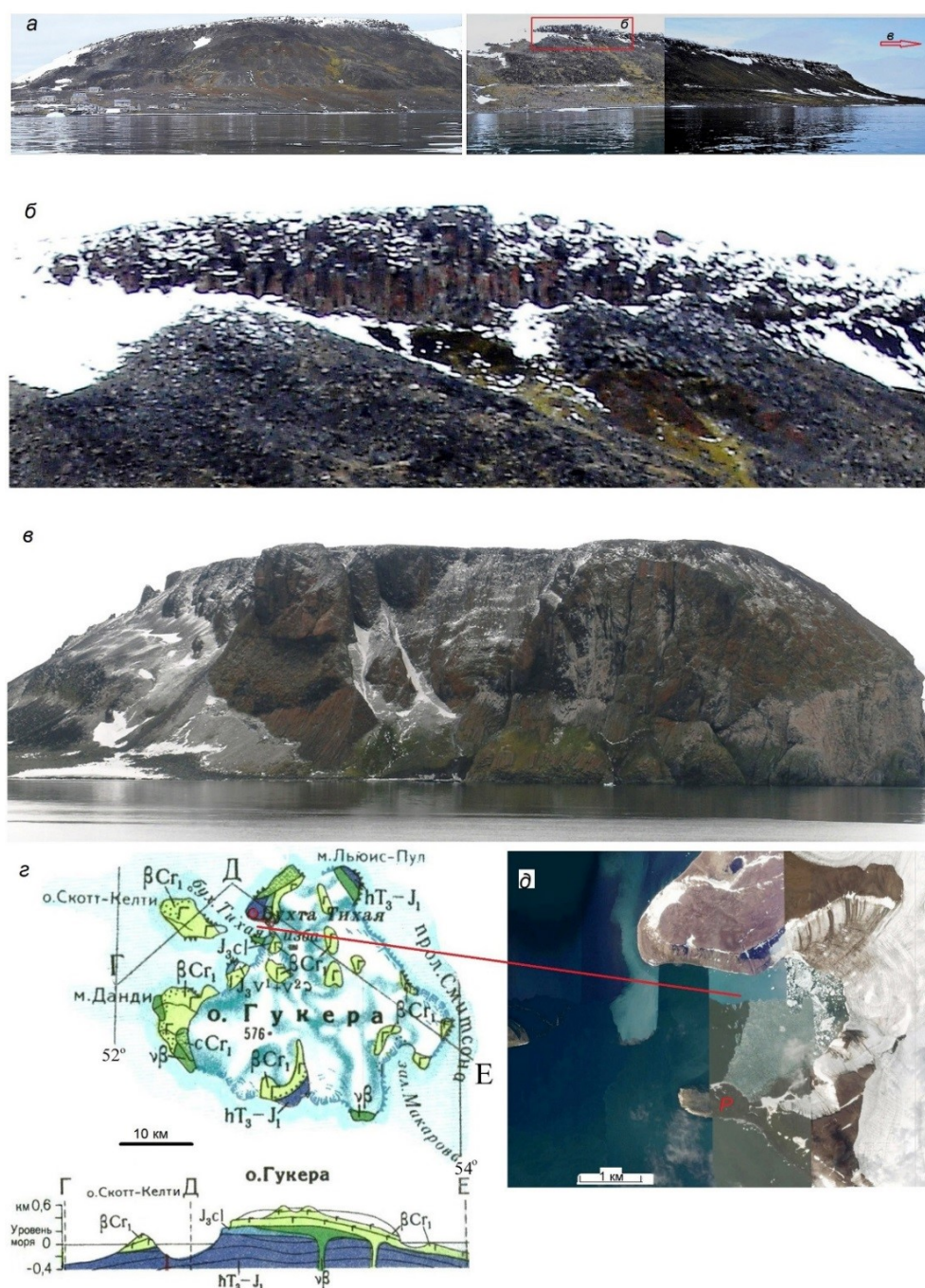


Рис. 11. Панорама и геологическая ситуация северного побережья бухты Тихая на острове Гукера:

- a* — раннеюрский покров; *б* — увеличенный фрагмент покрова со столбчатыми формами;
- в* — базальтоиды скалы Рубини (фото команды НИС «Дальние Зеленцы» и Э. В. Шипилова);
- г* — геологическая ситуация острова Гукера, фрагмент карты ЗФИ с разрезом [33];
- д* — космоснимок бухты Тихая (Landsat 9), Р — скала Рубини

Fig. 11. Panorama of the northern coast of Tikhaya Bay, Hooker Island.

- a* — the Early Jurassic flow; *б* — an enlarged fragment of the flow; *в* — the basaltoids of the Rubini rock (photo by the team of the research vessel “Dalniye Zelentsy” and E. V. Shipilov),
- г* — the geological situation of Hooker Island, a fragment of the ZFI map with a section [33];
- д* — a satellite image of Tikhaya Bay (Landsat 9), Р — Rubini rock

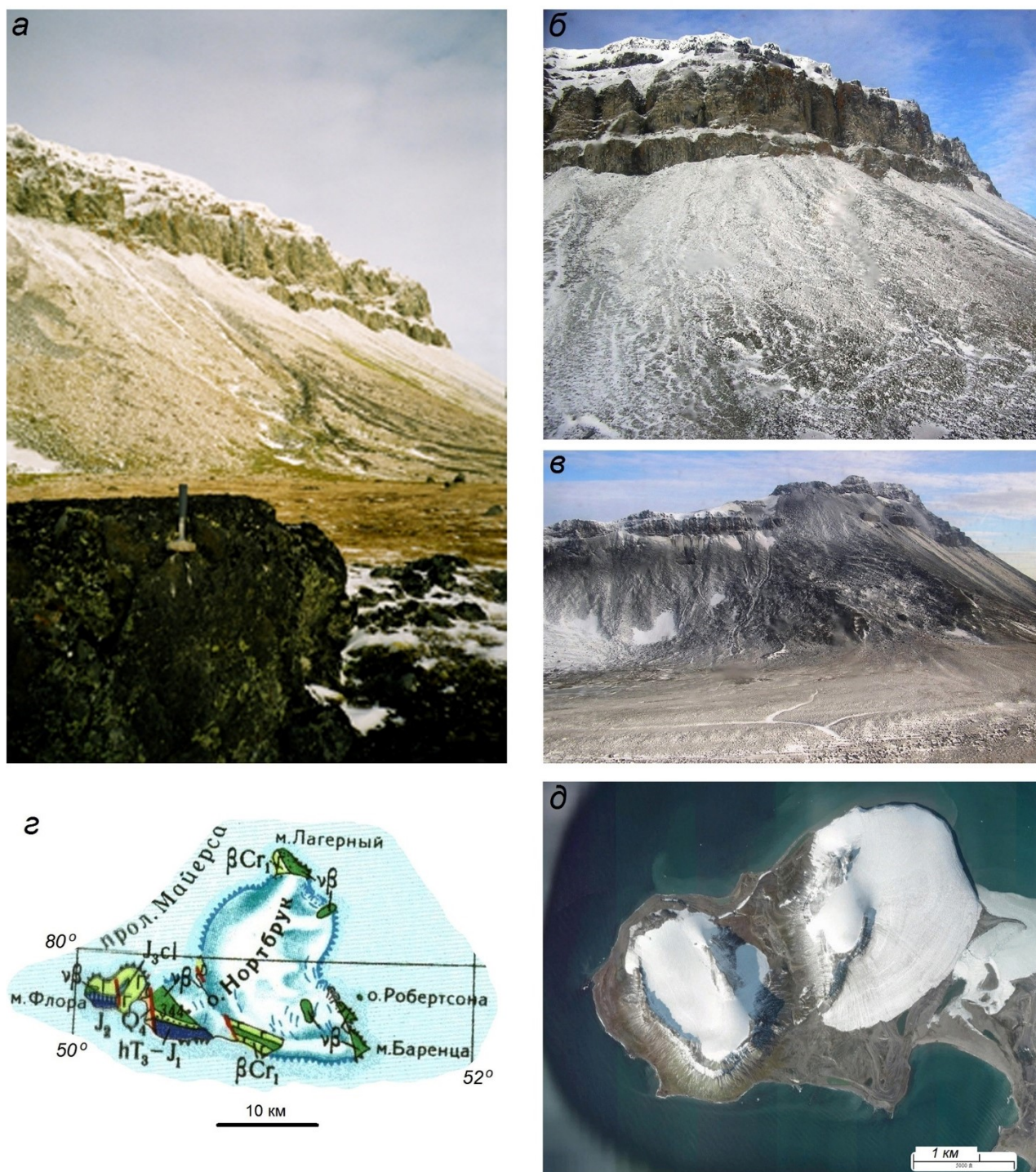


Рис. 12. Геологическая ситуация юго-западной части мыса Флора на острове Нортбрук:
а, б, в — формы проявления покровного магматизма (фото Э. В. Шипилова); г — фрагмент геологической карты архипелага ЗФИ и острова Нортбрук (приводится по: [33]); д — космоснимок мыса Флора (Landsat 9)

Fig. 12. The geological situation of the South-West part of Cape Flora, Northbrook Island:
а, б, в — forms of manifestation of cover magmatism (photo by E. V. Shipilov); г — fragment of the geological map of the ZFI, Northbrook Island [33]; д — satellite image of Cape Flora (Landsat 9)

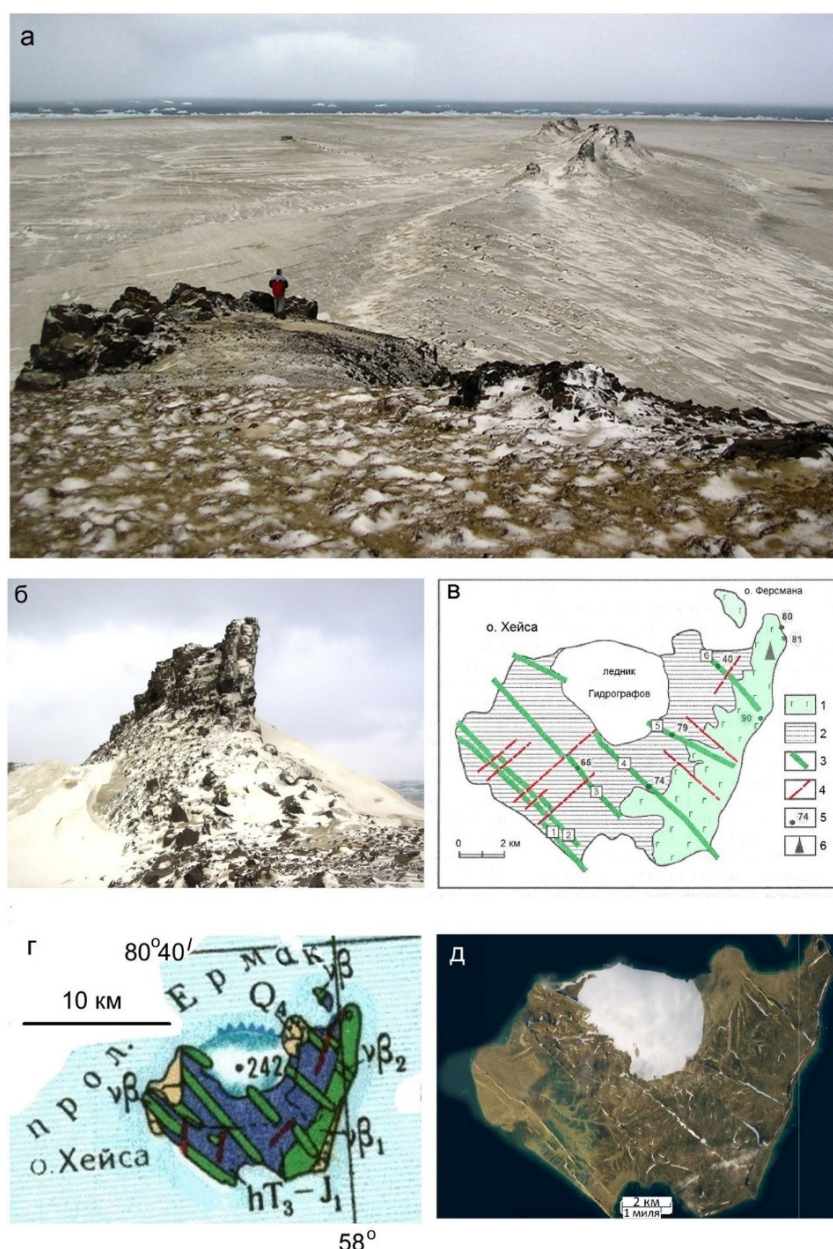


Рис. 13. Обнажения базальтоидов и геологическая ситуация острова Хейса:

- a* — общий вид обнажений дайки Аметистовая и *б* — один из гребней дайки (фото Э. В. Шипилова);
в — схематическая геологическая карта острова Хейса (*1* — раннемеловой базальтовый покров,
2 — раннемезозойские осадочные породы, *3* — дайки раннемеловых базальтов и долеритов, *4* — разломы,
5 — номера обнажений, *6* — скважина); цифры в квадратах обозначают дайки: *1* — Останцовая-1,
2 — Останцовая-2, *3* — Разбитая, *4* — Кривая, *5* — Сквозная, *6* — Аметистовая [12]; *г* — фрагмент
геологической карты архипелага ЗФИ, остров Хейса [33]; *д* — космический снимок острова Хейса (Landsat 9)

Fig. 13. Basaltoid outcrops and geological situation of Hayes Island:

- a* — general view of the outcrops of the Amethyst dike, and *б* — one of the ridges of the dike
(photo by E. V. Shipilov); *в* — schematic geological map of Hayes Island: *1* — Early Cretaceous basalt cover,
2 — Early Mesozoic sedimentary rocks, *3* — dikes of Early Cretaceous basalts and dolerites, *4* — faults,
5 — outcrops and their number, *6* — well; numbers in squares — dikes: *1* — Ostantsovaya-1, *2* — Ostantsovaya-2,
3 — Razbitaya, *4* — Krivaya, *5* — Skvoznaya, *6* — Ametistovaya [12]; *г* — fragment of the geological
map of FJL, Hayes Island [33]; *д* — Landsat 9 satellite image of Hayes Island

Обсуждение

В ряде иллюстраций настоящей статьи автор намеренно привёл фрагменты из Геологической карты архипелага Земли Франца-Иосифа за авторством В. Д. Дибнера [33], чтобы продемонстрировать читателю: этот картографический документ, созданный почти 70 лет назад (!), не потерял актуальности и удивительно точно передаёт геологическое строение архипелага. На момент публикации той карты можно было только мечтать о нынешних объёмах и методах исследований. На карте отражена геологическая структура практически всех значимых для этого масштаба островов. Естественно, сегодня в эти построения вносятся уточнения, связанные с модернизацией возрастных определений стратиграфических подразделений и магматических образований.

Проведённые нами исследования показывают, что в общей сложности позднемезозойский базальтоидный магматизм востока Баренцевоморской континентальной окраины развивался в течение трёх основных этапов активизации, неравнозначных по длительности и интенсивности. Об этом позволяют судить три группы схожих значений итоговых возрастов базальтоидных образований на архипелаге Земли Франца-Иосифа, описанных выше. Они укладываются в следующие временные интервалы: $196,5 \pm 6,3$ – $189,1 \pm 11,4$ млн лет (ранняя юра: геттанген — плинсбах); $158,4 \pm 5,4$ – $152,6 \pm 14,5$ млн лет (поздняя юра: оксфорд — кимеридж); $138,1 \pm 2,6$ – $125,2 \pm 5,5$ млн лет (ранний мел: валанжин — баррем — апт).

Формирование раннеюрского магматического комплекса (базальтовые покровы островов Земля Александры и Гукера) началось после завершения двух знаменательных тектоногеодинамических событий в Баренцевоморском регионе. Это феномен позднепермско-триасового быстрого погружения ВБМБ, опережающего по темпам лавинную седиментацию, приведшую к накоплению гигантской (10–11 км) линзы терригенных отложений, которые впоследствии вместили в себя значительный объём базальтоидных образований. Другое заметное событие — формирование Новоземельского складчато-надвигового пояса, в морфоструктурном плане обозначившее восточную бортовую область мегабассейна. Облик дислокаций и изотопные датировки гранитоидов с возрастом 180–230 млн лет, прорывающих палеозойские образования, свидетельствует о возникновении пояса в раннекимерийскую эпоху тектогенеза [29, 37]. Однако инерционные импульсы деформационных волн этого события, как показывают сейсморазрезы, затронули и Северо-Баренцевский бассейн, и поднятие ЗФИ.

На позднеюрском этапе излияние потоков базальтов отмечено его локальными проявлениями небольшой мощности на островах Земля Александры и Нортбрук. Этот этап можно считать промежуточным (или подготовительным) в контексте следующего — самого мощного по объёму и площади.

Магматическая активность третьего этапа, охватившего интервал раннего мела (с валанжина по апт, с некоторыми затухающими отголосками в альбе), характеризуется наибольшим разнообразием форм его проявления. Базальтовые покровы этого возраста несогласно залегают на подстилающих отложениях триаса и составляют верхнюю часть разрезов островов. В этот временной интервал входят силлы и дайки острова Хейса, имеющие северо-западное простирание. Многочисленные дайки аналогичного простирания выявлены сейсморазведкой и гидромагнитной съёмкой на южном шельфовом обрамлении ЗФИ и в Северо-Баренцевском бассейне.

Широкомасштабное распространение мезозойских магматогенных комплексов исключительно в виде интрузий, как проиллюстрировано выше, в площадном отношении повторяет очертания троговой системы, залегающей в основании ВБМБ. Единственным местом, где в мегабассейне скважиной были достигнуты гипсометрически наиболее высоко расположенные в разрезе триаса силлы, является Лудловская перемычка (см. рис. 1).

Разнообразные формы проявлений магматизма доступны для наблюдения в обнажениях на арх. ЗФИ, где многочисленные тела базальтоидов вскрыты тремя параметрическими скважинами, расположенными на островах Земля Александры, Хейса и Грэм-Белл (см. рис. 7).

В разрезе скв. Нагурской присутствуют покровы базальтов, перемежаемые слоями глин, алевролитов и углистых аргиллитов (баррем-апт), общей мощностью 283 м и 21 интрузия микро- и габбро-долеритов толщиной от 2 до 140 м [26]. В интенсивно дислоцированных метаморфических

породах складчатого основания вендского возраста интрузий больше, чем в осадочном чехле. Скважинами Хейса и Северная (остров Грэм-Белл) вскрыты практически одни и те же подразделения триаса, сопоставимые по мощностям и в литологическом отношении. Обе остановлены в среднем триасе. Первая пересекла семь интрузий габбро-долеритов толщиной от 20 до 73 м. Второй пробурено шесть пластов долеритов, габбро и габбро-долеритов мощностью от 5 до 87 м. Представляется, что наиболее ранние (юрские) проявления магматизма были связаны с разломами северо-восточного простирания, согласованными с общей структурой протяжённой троговой системы ВБМБ (см. рис. 1). Скорее всего, это были только силлы, а на ЗФИ (острова Земля Александры, Гукера) — ещё и синхронные с ними покровы.

Приведённые выше определения абсолютного возраста магматических образований свидетельствуют, что покровные магматические комплексы в рассматриваемом районе ЗФИ возникали неоднократно. На острове Хейса возраст покрова составляет $128,8 \pm 12,1$ млн лет. Наиболее молодой покровный комплекс острова Земля Александры образовался в интервале $131,2 \pm 5,9$ – 135 ± 4 млн лет. Если это так, тогда внедрённая в этот покров дайка (см. рис. 9б) может быть сопоставлена по возрасту с наиболее молодой («Аметистовой») дайкой на острове Хейса.

На побережье бухты Тихой (остров Земля Александры) в обнажении базальтоидов среднего покрова с возрастом $156,5 \pm 5,3$ млн лет автором зафиксированы отчётливые вертикальные каналы миграции флюидов в виде пористых струй, иногда заполняющих трещины в породе (см. рис. 9в, обн. 23). Возможное объяснение этому — термическое воздействие магматогенных расплавов на вмещающие породы осадочного чехла и его межбазальтовые прослои.

Особый интерес представляют раннеюрские покровные образования. Судя по структуре АМП всего сводово-блокового поднятия ЗФИ, их ареал занимает не только северо-западную островную окраину архипелага, но в основном базируется на сопредельном шельфе. Литосферные аномалии указывают на существование двух обособленных магнитных доменов — юго-западного и северо-восточного (см. рис. 8б). На геологической карте ареал первого из них имеет преобладающую субмеридиональную ориентировку, второй — северо-западную (см. рис. 7а). Характерной особенностью обоих доменов в магнитном поле является наличие структур кольцеобразного облика с размерами в диаметре приблизительно 150 км, в которых отрицательные значения центральной части (ядра) оконтурены по периметру аномалиями высоких положительных значений (внешний контур). В существующих классификациях такие кольцевые структуры относятся к мезоструктурам. Плюмовая (микроплюмовая) природа рассматриваемых магматических структур не вызывает сомнений. Судя по их расположению, именно они обеспечивали стартовое поступление базальтовых расплавов сначала в виде покровных, затем интрузивных форм. Впоследствии, на заключительном этапе, формировался наиболее обширный комплекс магматизма, представленный силлами, покровами и дайками раннемелового возраста.

В контексте характеристики срединной разделительной зоны арх. ЗФИ особый интерес представляет остров Хейса и его дайки, среди которых необычным строением и наиболее молодым возрастом ($125,2 \pm 5,5$ млн лет) отличается дайка Аметистовая. Её северо-западное окончание представлено маломощным пакетом из не менее десяти параллельных пластин мощностью 0,5–1,5 м (мультиплицированный комплекс) [29]. В ряде случаев наблюдается односторонняя закалка пластин, что свидетельствует о неоднократных импульсах магматизма с соответствующими режимами растяжения. К юго-востоку число пластин уменьшается до двух, что зафиксировано и нашими наблюдениями (см. рис. 13б), затем прослеживается единая дайка. Делается вывод о проявлении здесь клинораздвига, что независимо подтверждает заключение автора данной статьи о развитии здесь срединной рифтоподобной полосы растяжения. Сдвиговые нарушения меловых даек при этом если и происходили после их формирования, то с минимальными амплитудными смещениями или их некоторыми изгибами (см. рис. 13). Другими словами, контрастных геодинамических перестроек структуры земной коры на данном этапе развития не зафиксировано.

Если провести аналогию, то по своему имиджу в структуре АМП архипелага ЗФИ выделенная срединная зона раздела, чётко обозначенная фоновой полосой отрицательных значений, весьма

напоминает спрединговый центр хребта Гаккеля в южной части Евразийского бассейна на подходе к Лаптевоморской окраине. Интересно отметить, что даек юрского возраста и северо-восточного простирания на ЗФИ не установлено. В Южно-Баренцевском бассейне, как показывают геофизические материалы и структурные построения, разломы северо-западного простирания, к которым были бы адаптированы дайки, отсутствуют, то есть меловая генерация дайковых комплексов получила развитие только в северной части ВБМБ, начиная с Лудловского поднятия, и на архипелаге ЗФИ (см. рис. 1). Вместе с тем проведённые исследования показывают, что дайки и покровы мелового возраста завершают позднемезозойский цикл магматической деятельности на архипелаге.

Заключение

Есть все основания для вывода о том, что охарактеризованный магматизм по своим масштабам может быть отнесён к плюмовому. Однако если сравнивать с существующими классическими воззрениями на параметрические характеристики плюмов [38] с их крайне ограниченным по времени импульсом проявления магматизма, результаты наших исследований свидетельствуют об уникальности юрско-мелового плюмового магматизма рассматриваемой континентальной окраины. Главными особенностями Баренцевоморского плюма, резко отличающими его, например, от Сибирского суперплюма (250 млн лет), являются: протяжённый временной интервал, многофазность и вместе с тем постоянство локализации магматической деятельности.

Несмотря на достаточно существенный объём радиометрических определений возраста базальтоидов различными методами, вопросы длительности проявления позднемезозойского плюмового магматизма в Арктике далёки от однозначного ответа. Однако появляется всё больше исследований, указывающих на значительно более широкий возрастной диапазон проявлений позднемезозойского магматизма, установленного не только по результатам геологического изучения, но и по геофизическим данным [39, 40]. Что касается Сибирского суперплюма, получены данные, свидетельствующие о том, что вулканизм Западно-Сибирской плиты начался значительно раньше ($268 \pm 7,5$ млн лет, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$), чем на Сибирской платформе, хотя ранее проявления магматизма здесь считались синхронными [41].

Все изложенное, учитывая *многофазность и вместе с тем постоянство пространственной концентрации проявлений магматизма (арх. ЗФИ)*, широкий ряд разновозрастных плутонических и вулканических комплексов, по мнению автора, позволяет охарактеризовать эти магматогенные события как *результат деятельности мультиплюма*. Он возник и функционировал в юрско-меловое время в процессе подъёма Баренцево-Амеразийского суперплюма, положившего начало процессам океанообразования в Арктике. Баренцевоморской мультиплюмом, судя по всему, являлся одним из его многочисленных ответвлений (апофиз) в Арктическом регионе.

Список источников

1. Комарницкий В. М., Шипилов Э. В. Новые геологические данные о магматизме Баренцева моря // ДАН СССР. 1991. Т. 320, № 5. С. 1203–1206.
2. Комарницкий В. М., Сапожников Е. А., Устинов Н. В. Трапповые тела осадочной толще Восточно-Баренцевского мегапрогиба // Нефтегазоносность Баренцево-Карского шельфа. СПб.: ВНИИОкеангеология. 1993. С. 55–62.
3. Шипилов Э. В. Плюмовый магматизм в геодинамической эволюции Амеразийского бассейна // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Ростов н/Д: ЮНЦ РАН, 2016. С. 399–410.
4. Шипилов Э. В. Базальтоидный магматизм и сдвиговая тектоника Арктической континентальной окраины Евразии в приложении к начальному этапу геодинамической эволюции Амеразийского бассейна // Геология и геофизика. 2016. № 12. С. 2115–2142.
5. Шипилов Э. В. Позднемезозойский магматизм и кайнозойские тектонические деформации Баренцевоморской континентальной окраины: влияние на распределение углеводородного потенциала // Геотектоника. 2015. № 1. С. 60–85. doi:10.7868/S0016853X1501004X.
6. Шипилов Э. В., Юнов А. Ю. О генезисе антиклинальных структур месторождений углеводородов восточной части Баренцева моря // Доклады Академии наук. 1995. Т. 342, № 1. С. 87–88.

7. Объяснительная записка к государственной геологической карте Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Лист U-41-44 — Земля Франца-Иосифа (восточные острова). СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2011. 220 с.
8. Шипилов Э. В., Шкарубо С. И. Современные проблемы геологии и тектоники осадочных бассейнов Евразийско-Арктической континентальной окраины. Т. 1. Литолого- и сеймостратиграфические комплексы осадочных бассейнов Баренцево-Карского шельфа. Апатиты: КНЦ РАН, 2010. 266 с.
9. Шельфовые осадочные бассейны Российской Арктики: геология, геоэкология, минерально-сырьевой потенциал / ред. Г. С. Казанин [и др.]. СПб.: Реноме, 2020. 544 с.
10. Шипилов Э. В., Карякин Ю. В. Мезозойский базальтовый магматизм Баренцевоморской континентальной окраины: геодинамические обстановки раннего этапа раскрытия Арктического океана (по результатам исследований на архипелагах Земля Франца-Иосифа и Шпицберген) // Строение и история развития литосферы (Вклад России в Международный полярный год 2007/08). М.: Paulsen, 2010. С. 310–328.
11. Шипилов Э. В., Карякин Ю. В. Баренцевоморская магматическая провинция: геолого-геофизические свидетельства и новые результаты определения $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраста // Доклады Академии наук. 2011. Т. 439, № 3. С. 376–382.
12. Shipilov E. V., Karyakin Y. V. Dikes of Hayes island (Frantz Josef Land archipelago): tectonic position and geodynamic interpretation // Dokl. Earth Sciences. 2014. Vol. 457, no. 1. P. 814–818.
13. Соколов С. Ю., Абрамова А. С., Зарайская Ю. А. Процессы эволюции литосферы в районе архипелага Земля Франца-Иосифа по данным картирования донных обнажений магматических тел // Мониторинг. Наука и технологии. 2016. № 4 (29). С. 14–19.
14. Solheim A., Musatov E., Heintz N. Geological aspects of Franz Josef Land and the northern Barents Sea. Oslo: Norsk Polarinstitut, Meddelelser, 1998. No. 151. 120 p.
15. Малютин Ю. Д. Морская градиентометрия — новый качественный уровень магнитометрии в Арктике // 25 лет на Арктическом шельфе России. Мурманск: МАГЭ, 1999. С. 101–104.
16. Прогноз зон развития объектов возможного УВ-накопления на Северо-Баренцевском шельфе / В. В. Шлыкова [и др.] // Разведка и охрана недр. 2017. № 10. С. 39–48.
17. Картирование магматических комплексов по данным гидромагнитных съёмок Баренцевоморского региона / И. В. Лыгин [и др.] // Физика Земли. 2023. № 4. С. 96–114. doi:10.31857/S0002333723040075.
18. Технология картирования вулканогенно-осадочной толщи в сложнодислоцированном терригенном разрезе по данным сейморазведки и магниторазведки (Печорское море) / И. В. Лыгин [и др.] // Геофизические исследования. 2023. Т. 24, № 1. С. 5–30. doi:10.21455/gr2023.1-1.
19. Смирнов А. С., Сподобаев А. А., Нежданов А. А. Выделение интрузивных тел в сейсмическом поле Ледового месторождения Баренцева моря // Геофизические технологии. 2023. № 1. С. 38–53. <https://doi.org/10.18303/2619-1563-2023-1-38>.
20. Ivanova N. M., Sakoulina T. S., Roslov Yu. V. Deep seismic investigation across the Barents–Kara region and Novozemelskiy Fold Belt (Arctic Shelf) // Tectonophysics. 2006. Vol. 420. P. 123–140.
21. Маргулис Л. С. О геологической природе аномальных отражающих горизонтов в триасовых отложениях Баренцева моря // ДАН СССР. 1986. Т. 290, № 1. С. 184–187.
22. Алехин С. В. О природе «странных» горизонтов в триасе Южно-Баренцевской впадины // Советская геология. 1988. № 9. С. 61–65.
23. Шипилов Э. В., Моссур А. П. Об аномальных сейсмических горизонтах в осадочном чехле Баренцева моря // Геотектоника. 1990. № 1. С. 90–96.
24. Shipilov E. V., Mossur A. P. The structure of the sedimentary section at depth in the Arctic region // Int. Geol. Rev. 1991. No. 33. P. 92–102.
25. Шипилов Э. В. К характеристике раннемелового платобазальтового магматизма Шпицбергена (Земля Норденшельда) // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2023. Т. 2 (2). С. 104–118.
26. Параметрические скважины на островах Баренцева и Карского морей / И. С. Грамберг [и др.] // Советская геология. 1985. № 1. С. 95–98.
27. Объяснительная записка к государственной геологической карте Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (новая сер.). Лист T-37-40 — Земля Франца-Иосифа (южные острова). СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2004. 170 с. + 4 вкл.
28. Объяснительная записка к государственной геологической карте Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (новая сер.). Лист U-37-40 — Земля Франца-Иосифа (северные острова). СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2006. 272 с.

29. Кораго Е. А., Евдокимов А. Н., Столбов Н. М. Позднемезозойский и кайнозойский базитовый магматизм северо-запада континентальной окраины Евразии. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2010. 174 с.
30. Твёрдые полезные ископаемые архипелагов и островов арктической континентальной окраины Евразии / ред. В. Д. Каминский. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2010. 336 с.
31. Магнитные параметры и вариации состава магматических пород архипелага Земля Франца-Иосифа / А. Л. Пискарев [и др.] // Физика Земли. 2009. № 2. С. 66–83.
32. U-Pb geochronology of Cretaceous magmatism on Svalbard and Franz Josef Land, Barents Sea Large Igneous Province / F. Corfu [et al.] // Geological magazine. 2013. Vol. 150 (6). P. 1127–1135. <https://doi.org/10.1017/S0016756813000162>.
33. Дибнер В. Д. Государственная Геологическая карта СССР. Масштаб 1:1 000 000. Лист U–T–38, 39, 40, 41 (Земля Франца-Иосифа). М.: Картфабрика Госгеолтехиздата Мин-ва геологии и охраны недр СССР, 1957.
34. Возраст траппов Земли Франца-Иосифа / А. Н. Тараховский [и др.] // ДАН СССР. 1982. Т. 266, № 4. С. 965–969.
35. Dibner V. D. Geology of Franz Josef Land. № 146. Oslo: Norsk Polarinstitut. Meddelelser, 1998. 190 p.
36. Палеомагнетизм архипелага Земля Франца-Иосифа: приложение к мезозойской тектонике Баренцевоморской континентальной окраины / Д. В. Метелкин [и др.] // Геология и геофизика. 2022. Т. 63, № 4. С. 410–439. doi:10.15372/GiG2021175.
37. Богданов Н. А., Хаин В. Е., Шипилов Э. В. Раннемезозойская геодинамика Баренцево-Карского региона // ДАН СССР, 1997. Т. 357, № 4. С. 511–515.
38. Пучков В. Н. «Великая дискуссия» о плюмах: так кто же все-таки прав? // Геотектоника. 2009. № 1. С. 3–22.
39. Evidence for protracted High Arctic large igneous province magmatism in the central Sverdrup Basin from stratigraphy, geochronology, and paleodepths of saucer-shaped sills / C. A. Evenchick [et al.] // GSA Bulletin. 2015. Vol. 127, no. 9–10. P. 1366–1390. doi:10.1130/b31190.1.
40. Kristoffersen Y., Nilsen E. H., Hall J. K. The High Arctic Large Igneous Province: first seismic-stratigraphic evidence for multiple Mesozoic volcanic pulses on the Lomonosov Ridge, central Arctic Ocean // J. Geol. Society. 2023. Vol. 180, no. 5. <https://doi.org/10.1144/jgs2022-153>.
41. Иванов К. С., Ерохин Ю. В. О времени заложения системы триасовых рифтов Западной Сибири // Доклады Академии наук. 2019. Т. 486, № 1. С. 88–92.

References

1. Komarnitsky V. M., Sapozhnikov E. A., Ustinov N. V. Trappovyye tela v osadochnoy tolshche Vostochno-Barentsevskogo megaproгиба. [Trap bodies of the sedimentary strata of the East Barents megatrough]. *Neftegazonosnost' Barentsevo-Karskogo shel'fa* [Oil and gas potential of the Barents-Kara shelf]. Saint Petersburg, VNIIOkeangeology, 1993, pp. 55–62. (In Russ.).
2. Komarnitskii V. M., Shipilov E. V. Novyye geologicheskiye dannyye o magmatizme Barentseva morya [New geological data on the magmatism of the Barents Sea]. *Doklady AN SSSR* [Doklady Akad. Nauk SSSR], 1991. Vol. 320, no. 5, pp. 1203–1206. (In Russ.).
3. Shipilov E. V. Plyumovyy magmatizm v geodinamicheskoy evolyutsii Ameraziyskogo basseyna [Plume magmatism in the geodynamic evolution of the Amerasian basin]. *Kompleksnyye issledovaniya prirody Shpitsbergena i prilgayushchego shel'fa* [Comprehensive studies of the nature of Spitsbergen and the adjacent shelf]. Rostov-on-Don, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2016, pp. 399–410. (In Russ.).
4. Shipilov E. V. Basaltic magmatism and strike-slip tectonics in the Arctic margin of Eurasia: evidence for the early stage of geodynamic evolution of the Amerasia Basin. *Russian Geology and Geophysics*, 2016, Vol. 57, no. 12, pp. 1668–1687. doi:10.1016/j.rgg.2016.04.007 (In Russ.).
5. Shipilov E. V. Late Mesozoic magmatism and Cenozoic tectonic deformations of the Barents Sea continental margin: effect on hydrocarbon potential distribution. *Geotectonics*, 2015, Vol. 49, no. 1, pp. 53–74. doi:10.1134/S0016852115010045 (In Russ.).
6. Shipilov E. V., Yunov A. Yu. O genezise antiklinal'nykh struktur mestorozhdeniy uglevodorodov vostochnoy chasti Barentseva morya [On the genesis of anticlinal structures of hydrocarbon fields in the eastern part of the Barents Sea]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 1995, Vol. 342, no. 1, pp. 87–88. (In Russ.).
7. Ob'yasnitel'naya zapiska k gosudarstvennoy geologicheskoy karte Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1000000 (tret'ye pokoleniye). List U-41-44 — Zemlya Frantsa-Iosifa (vostochnyye ostrova) [Explanatory Notes to the State Geological Map of the Russian Federation on a Scale of 1:1000000 (3rd Generation). North Kara-Barents Sea Series. Map Sheet U-41-44, Franz Josef Land (Eastern Islands)]. Saint Petersburg, Kartfabrika VSEGEI, 2011, 220 p.

8. Shipilov E. V., Shkarubo S. I. *Sovremennyye problemy geologii i tektoniki osadochnykh basseynov Yevraziysko-Arkticheskoy kontinental'noy okrainy. T. 1. Litologo- i seismostratigraficheskiye komplekсы osadochnykh basseynov Barentsevo-Karskogo shel'fa* [Modern problems of geology and tectonics of sedimentary basins of the Eurasian-Arctic continental margin. Vol. 1. Lithological and seismostratigraphic complexes of sedimentary basins of the Barents-Kara shelf]. Apatity, KSC RAS, 2010, 266 p.
9. *Shel'fovye osadochnye basseyny Rossiyskoy Arktiki: geologiya, geoekologiya, mineral'no-syr'yevoy potentsial* [Shelf sedimentary basins of the Russian Arctic: geology, geoecology, mineral resource potential]. Saint Petersburg, Renome, 2020. 544 p.
10. Shipilov E. V., Karyakin Yu. V. Mezozoyskiy bazal'tovyy magmatizm Barentsevomorskoy kontinental'noy okrainy: geodinamicheskiye obstanovki rannego etapa raskrytiya Arkticheskogo okeana (po rezul'tatam issledovaniy na arhipelagakh Zemlya Frantsa-Iosifa i Shpitsbergen) [Mesozoic basaltic magmatism of the Barents Sea continental margin: geodynamic settings of the early stage of the opening of the Arctic Ocean (based on the results of studies on the archipelagos of Franz Josef Land and Spitsbergen)]. *Stroyeniye i istoriya razvitiya litosfery. (Vklad Rossii v Mezhdunarodnyy polyarnyy god 2007/08)* [Structure and history of the development of the lithosphere. (Russia's contribution to the International Polar Year 2007/08)]. Moscow, Paulsen, 2010, pp. 310–328. (In Russ.).
11. Shipilov E. V., Karyakin Yu. V. Barentsevomorskaya magmaticheskaya provinciya: geologo-geofizicheskie svidetel'stva i novye rezul'taty opredeleniya $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -vozrasta [The Barents sea magmatic province: geological-geophysical evidence and new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dates]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2011, Vol. 439, no. 1, pp. 955–960. doi:10.1134/S1028334X11070270 (In Russ.).
12. Shipilov E. V., Karyakin Y. V. Dikes of Hayes island (Frantz Josef Land archipelago): tectonic position and geodynamic interpretation. *Dokl. Earth Sci.*, 2014, Vol. 457, no. 1, pp. 814–818.
13. Sokolov S. Yu., Abramova A. S., Zarayskaya Yu. A. Protssy evolyutsii litosfery v rayone arhipelaga Zemlya Frantsa-Iosifa po dannym kartirovaniya donnykh obnazheniy magmaticheskikh tel [Processes of evolution of the lithosphere in the area of the Franz Josef Land archipelago according to mapping data of bottom outcrops of magmatic bodies]. *Monitoring. Nauka i tekhnologii* [Monitoring. Science and technology], 2016, no. 4 (29), pp. 14–19. (In Russ.).
14. Solheim A., Musatov E., Heintz N. Geological aspects of Franz Josef Land and the northern Barents Sea. Oslo, Norsk Polarinstitut, Meddelelser, 1998, no. 151, 120 p.
15. Malyutin Yu. D. *Morskaya gradiyentometriya — novyy kachestvennyy uroven' magnitometrii v Arktike* [Marine gradientometry — a qualitatively new level of magnetometry in Arctica]. Murmansk, MAGE, 1999, pp. 101–104.
16. Shlykova V. V., Velichko B. M., Pavlov S. P., Zuikova O. N. Prognoz zon razvitiya ob'yektov vozmozhnogo UV-nakopleniya na Severo-Barentsevskom shel'fe [Forecast of development zones for objects of possible hydrocarbon accumulation on the North Barents shelf]. *Razvedka i okhrana nedr* [Exploration and protection of subsurface resources], 2017, no. 10, pp. 39–48. (In Russ.).
17. Lygin I. V., Arutyunyan D. A., Sokolova T. B., Kuznetsov K. M., Krivosheya K. V. Mapping of magmatic complexes based on hydromagnetic surveys in the Barents Sea region. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2023, Vol. 59, no. 4, pp. 586–603. doi:10.1134/s1069351323040079 (In Russ.).
18. Lygin I. V., Sokolova T. B., Kleshchina L. N., Nikitina V. A., Shirokova T. P. Tekhnologiya kartirovaniya vulkanogenno-osadochnoy tolshchi v slozhnodislotsirovannom terrigenom razreze po dannym seysmorazvedki i magnitorazvedki (Pechorskoye more) [The technology of mapping volcanogenic sedimentary strata in a complex dislocated terrigenous section based on seismic and magnetic survey data (Pechora Sea)]. *Geofizicheskiye issledovaniya* [Geophysical Research], 2023, Vol. 24, no. 1, pp. 5–30. (In Russ.).
19. Smirnov A. S., Spodobayev A. A., Nezhdanov A. A. Vydeleniye intruzivnykh tel v seysmicheskom pole Ledovogo mestorozhdeniya Barentseva moray [Identification of intrusive bodies in the seismic field of the Ledovoye field of the Barents Sea]. *Geofizicheskiye tekhnologii* [Geophysical technologies], 2023, no. 1, pp. 38–53. (In Russ.).
20. Ivanova N. M., Sakoulina T. S., Roslov Yu. V. Deep seismic investigation across the Barents–Kara region and Novozemelskiy Fold Belt (Arctic Shelf). *Tectonophysics*, 2006, Vol. 420, pp. 123–140.
21. Margulis L. S. O geologicheskoy prirode anomal'nykh otrazhayushchikh gorizontov v triasovykh otlozheniyakh Barentseva morya [Geological nature of anomalous reflectors in the Triassic sequences of the Barents Sea]. *Doklady AN SSSR* [Doklady Akad. Nauk SSSR], 1986, Vol. 290, no. 1, pp. 184–187. (In Russ.).
22. Alekhin S. V. O prirode “strannykh” gorizontov v triase Yuzhno-Barentsevskoy vpadiny [On the nature of “strange” horizons in the Triassic of the South Barents Depression]. *Sovetskaya geologiya* [Soviet geology], 1988, no. 9, pp. 61–65. (In Russ.).

23. Shipilov E. V., Mossur A. P. Ob anomal'nykh seismicheskikh gorizontakh v osadochnom chekhle Barentseva morya [On the anomalous seismic horizons in the sedimentary cover of the Barents Sea]. *Geotektonika* [Geotectonics], 1990, no. 1, pp. 90–96. (In Russ.).
24. Shipilov E. V., Mossur A. P. The structure of the sedimentary section at depth in the Arctic region. *Int. Geol. Rev.*, 1991, no. 33, pp. 92–102.
25. Shipilov E. V. K kharakteristike rannemelovogo platobazal'tovogo magmatizma Shpitsbergena (Zemlya Nordenshel'da) [On the characteristics of the Early Cretaceous plateau-basaltic magmatism of Spitsbergen (Nordenskiöld Land)]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. Ser. Yestestvennyye i gumanitarnyye nauki* [Transactions of the Kola Science Centre RAS] Series: Natural Sciences and Humanities, 2023, Vol. 2, no. 2, pp. 104–118. (In Russ.).
26. Gramberg I. S., Shkola I. V., Bro E. G., Shekhodanov V. A., Armishev A. M. Parametricheskiye skvazhiny na ostrovakh Barentseva i Karskogo morey [Parametric boreholes on islands of the Barents and Kara seas]. *Sovetskaya geologiya* [Soviet geology], 1985, no. 9, pp. 95–98. (In Russ.).
27. Ob "yasnitel'naya zapiska k gosudarstvennoy geologicheskoy karte Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1000000 (novaya seriya). List T-37-40 — Zemlya Frantsa-Iosifa (yuzhnyye ostrova) [Explanatory note to the state geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (new series). Sheet T-37-40 — Franz Josef Land (southern islands)]. Saint Petersburg, Kartfabrika VSEGEI, 2004, 170 p. (In Russ.).
28. Ob "yasnitel'naya zapiska k gosudarstvennoy geologicheskoy karte Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1000000 (novaya seriya). List U-37-40 — Zemlya Frantsa-Iosifa (severnyye ostrova) [Explanatory note to the state geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (new series). Sheet U-37-40 — Franz Josef Land (northern islands)]. Saint Petersburg: Kartfabrika VSEGEI, 2006, 272 p. (In Russ.).
29. Korago E. A., Evdokimov A. N., Stolbov N. M. Pozdnemezozoyskiy i kaynozoyiskiyy bazitovyy magmatizm severo-zapada kontinental'noy okrainy Yevrazii [Late Mesozoic and Cenozoic mafic magmatism in the northwest of the continental margin of Eurasia]. Saint Petersburg, VNIIOkeangeologiya, 2010, 174 p. (In Russ.).
30. Tverdyye poleznyye iskopayemyye arkhipelagov i ostrovov arkticheskoy kontinental'noy okrainy Yevrazii [Solid minerals of the archipelagos and islands of the Arctic continental margin of Eurasia]. Saint Petersburg, VNIIOkeangeologiya, 2010, 336 p.
31. Piskarev A. L., Heunemann Ch., Makar'ev A. A., Makar'eva E. M., Bachtadse V., Alekseyutin M. Magnetic parameters and variations in the composition of igneous rocks of the Franz-Josef land archipelago. *Izv., Phys. Solid Earth*, 2009, Vol. 45, no. 2, pp. 150–166. doi:10.1134/S1069351309020050 (In Russ.).
32. Corfu F., Polteau S., Planke S., Faleide J. I., Svensen H., Zayoncheck A., Stolbov N. U-Pb geochronology of Cretaceous magmatism on Svalbard and Franz Josef Land, Barents Sea Large Igneous Province. *Geological magazine*, 2013, Vol. 150, no. 6, pp. 1127–1135. <https://doi.org/10.1017/S0016756813000162>.
33. Dibner V. D. Gosudarstvennaya Geologicheskaya karta SSSR. Masshtab 1:1000000. List U-T-38,39,40,41 (Zemlya Frantsa-Iosifa) [State Geological Map of the USSR. Scale 1:1000000. Sheet U-T-38,39,40,41 (Franz Josef Land)]. Moscow, Kartfabrika Gosgeoltekhizdata Ministerstva geologii i okhrany neдр SSSR, 1957.
34. Tarakhovsky A. N., Fishman M. V., Shkola I. V., Andreichev V. L. Vozrast trappov Zemli Frantsa-Iosifa [The age of the traps of Franz Josef Land]. *Doklady AN SSSR* [Doklady Akad. Nauk SSSR], 1982. Vol. 266, no. 4, pp. 965–969. (In Russ.).
35. Dibner V. D. Geology of Franz Josef Land. Oslo, Norsk Polarinstitut. Meddelelser, 1998, no. 146. 190 p.
36. Metelkin D. V., Abashev V. V., Vernikovskiy V. A., Mikhaltsov N. E. Paleomagnetism of the Franz Josef Land Archipelago: Application to the Mesozoic Tectonics of the Barents Sea Continental Margin. *Russian Geology and Geophysics*, 2022, Vol. 63, no. 4, pp. 342–367. <https://doi.org/10.2113/RGG20214432> (In Russ.).
37. Bogdanov N. A., Khain V. E., Shipilov E. V. Rannemezozojkaya geodinamika Barentsevo-Karskogo regiona [Early Mesozoic geodynamics of the Barents-Kara region]. *Doklady AN SSSR* [Doklady Akad. Nauk SSSR], 1997, Vol. 357, no. 4, pp. 511–515. (In Russ.).
38. Puchkov V. N. "Velikaya diskussiya" o plyumakh: tak kto zhe vse-taki prav? [The controversy over plumes: Who is actually right?]. *Geotektonika* [Geotectonics], 2009, Vol. 43, no. 1, pp. 1–17. doi:10.1134/S0016852109010014 (In Russ.).
39. Evenchick C. A., Davis W. J., Bedard J. H., Hayward N., Friedman R. M. Evidence for protracted High Arctic large igneous province magmatism in the central Sverdrup Basin from stratigraphy, geochronology, and paleodepths of saucer-shaped sills. *GSA Bulletin*, 2015, Vol. 127, no. 9–10, pp. 1366–1390. doi:10.1130/b31190.1.
40. Kristoffersen Y., Nilsen E. H., Hall J. K. The High Arctic Large Igneous Province: first seismic-stratigraphic evidence for multiple Mesozoic volcanic pulses on the Lomonosov Ridge, central Arctic Ocean. *J. Geological Society*, 2023, Vol. 180, no. 5. <https://doi.org/10.1144/jgs2022-153>.

41. Ivanov K. S., Erokhin Y. V. O vremeni zalozeniya sistemy triasovykh riftov Zapadnoj Sibiri [On Time of the Triassic Rifts System Origin in Western Siberia]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2019, Vol. 486, no. 1, pp. 521–524. (In Russ.).

Информация об авторе

Э. В. Шипилов — доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник

Information about the author

E. V. Shipilov — Dr. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Chief Researcher

Статья поступила в редакцию 23.08.2024; одобрена после рецензирования 23.07.2025; принята к публикации 29.08.2025.
The article was submitted 23.08.2024; approved after reviewing 23.07.2025; accepted for publication 29.08.2025.