

Новая модель формирования Атлантико-Арктической гетерохронной рифтогенной системы: концепция и базовые положения

Обосновывается новая модель формирования глобальной Атлантико-Арктической гетерохронной рифтогенной системы, согласно которой Центральная и Северная Атлантика, Лабрадор-Баффинские моря и Северный Ледовитый океан являются разнопорядковыми морфотектоническими элементами единого современного Атлантико-Арктического океана. Эволюция глобальной рифтовой системы этого океана включает три этапа: первый (D–J₁) – заложение тектонической зоны в литосфере Пангеи с образованием ультрабазит-габбровой офиолитовой ассоциации; второй (J₁–P₁) – растяжение континентальной коры с формированием впадин и поднятий и площадным проявлением на них мелового, в том числе траппового, магматизма; третий (P₂–наст. время) – неотектоно-магматическая активизация с образованием срединного хребта, сопровождаемая излияниями стекловатых базальтов и гидротермальными проявлениями. В рамках этой модели реконструирована история формирования Евразийского бассейна и хребта Гаккеля, включённых в обновлённую заявку России по расширению внешней границы континентального шельфа.

Ключевые слова: Атлантический океан, Северный Ледовитый океан, срединно-океанические хребты, хребет Гаккеля, морфотектонические и геолого-геофизические характеристики дна океанов.

КРЕМЕНЕЦКИЙ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, советник генерального директора, nauka@imgre.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов» (ФГБУ «ИМГРЭ»), г. Москва

A new formation model of the Atlantic-Arctic heterochronous rifting system: A concept and basic provisions

A. A. KREMENETSKIY

Federal State Budgetary Institution – Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements (IMGRE), Moscow

A new formation model of the global Atlantic-Arctic heterochronous rifting system is substantiated, according to which the Central and North Atlantics, Labrador-Baffin seas, and Arctic Ocean represent morpho-tectonic elements of different orders of the united recent Atlantic-Arctic Ocean. Evolution of the global rift system of this ocean includes three stages: the first stage (D–J₁) was expressed by establishment of a tectonic zone in the lithosphere of Pangea with formation of the ophiolite ultrabasite-gabbro association; the second stage (J₁–P₁) represented stretching of the continental crust to form depressions and uplifts with areal manifestation of trap magmatism of Cretaceous and other ages; and the third one (P₂–present) is neotectonic-magmatic reactivation with formation of a middle ridge, that is being accompanied by outpouring of glassy basalts and by hydrothermal manifestations. Within the framework of this model, the history of formation is reconstructed of the Eurasian Basin and the Gakkel Ridge, that were included in the Russia's updated application for expansion of the outer continental shelf border.

Key words: Atlantic Ocean, Arctic Ocean, mid-ocean ridges, Gakkel Ridge, morpho-tectonic and geological-geophysical characteristics of the ocean floor.

В настоящее время проблема геодинамической природы хребта Гаккеля приобрела актуальное значение в связи с обоснованием, в рамках обновлённой заявки РФ, внешней границы континентального

шельфа Российского сектора Арктики. Особое положение этого хребта в Евразийском бассейне Северного Ледовитого океана (СЛО) общеизвестно. Во-первых, он занимает промежуточное положение

между спрединговой рифтовой системой Центральной и Северной Атлантики и континентальной рифтовой системой Лаптевоморских и Момского грабенов. Во-вторых, вместе с хребтами Северной Атлантики формирует так называемую дивергентную границу между Евро-Азиатской и Северо-Американской плитами.

С момента открытия хребта Гаккеля в 1950-х годах и до 1999 г. он считался невулканическим. После обнаружения подводными и надводными экспедициями на хребте Гаккеля вулканических построек, гидротермальных проявлений, пирокластического материала и сегментов основных магматических пород утвердилось представление о проникновении Срединно-Атлантического хребта в СЛО и, соответственно, формировании там новообразованной океанической коры. После открытия в Евразийском бассейне СЛО системы линейных магнитных аномалий, однотипных с аномалиями других срединно-океанических структур, утвердилась гипотеза формирования этого бассейна в процессе ультрамедленного спрединга с осью раскрытия, располагавшейся на протяжении всего кайнозойского времени на хребте Гаккеля. Однако анализ современных сейсмических материалов поэтапной реконструкции истории формирования Евразийского бассейна СЛО [4] обосновывает неправомочность датировок возраста по полосовым линейным магнитным аномалиям и, как следствие, незначительную роль спрединга (рассеянный спрединг) в этом бассейне. Естественные трудности, связанные с изучением вещественного состава коренных пород дна СЛО (сплошной ледяной покров и большая мощность рыхлых отложений), способствовали также появлению представлений о наличии океанической коры и в соседнем Американо-Евразийском бассейне, которые были опровергнуты последующими геолого-геофизическими исследованиями, включая бурение глубоководных скважин на поднятии Менделеева [12]. Альтернативная модель формирования хребта Гаккеля [17] предполагает внутриплитное растяжение континентальной коры дна СЛО с трансляцией восточной части хребта Гаккеля через шельф моря Лаптевых в Момский рифт (преафарская стадия), в силу чего линейная форма границы между Евро-Азиатской и Северо-Американскими плитами теряет смысл.

С целью решения этой проблемы нами был проведён сравнительный анализ морфотектонических характеристик строения дна и геолого-геохимических особенностей магматизма главных провинций глобальной рифтогенной системы: Центральный САХ-хребты Северной Атлантики-хребет Гаккеля-шельф моря Лаптевых-Момский рифт. Обобщение и анализ многочисленных литературных

источников [1–3, 5, 6, 13, 14 и др.], посвящённых характеристике морфоструктурных и геолого-геофизических особенностей строения дна и истории развития Центральной и Северной частей Атлантического и Северного Ледовитого океанов, а также результаты исследований, выполненных автором в период 2012–2020 гг. [8–10], позволили разработать и предложить для обсуждения концепцию новой модели формирования глобальной Атлантико-Арктической гетерохронной рифтогенной системы, основанной на следующих базовых положениях:

1. Центральная и Северная Атлантика, Лабрадор-Баффинские моря и Северный Ледовитый океан являются разнопорядковыми морфотектоническими элементами единого современного Атлантико-Арктического океана. Между северной ветвью Атлантического океана и СЛО отсутствует чётко выраженная морфоструктурная граница, которая, как известно, при разграничивании океанов и материков выделяется по изобате 200 м с переходом в континентальную окраину. Как показано на рис. 1, А, такая граница непрерывно прослеживается вдоль всего периметра Атлантико-Арктического океана, включая периферии Гренландско-Исландско-Фарерского порога и зоны Канадский Арктический архипелаг-Северная Гренландия. В современных координатах, в контурах единого Атлантико-Арктического океана выделяются, соответственно, два мегабассейна – Атлантический и Арктический, разделённые континентальными порогами: Гренландско-Исландско-Фарерским на юге и Северо-Канадско-Гренландско-Шпицбергенским на севере (см. рис. 1, А). Континентальный порог между Центрально-Атлантическим и Арктическим мегабассейнами в северной его части, на востоке, представлен областью растяжения островов Канадского Арктического архипелага и контролируется субширотной сбросово-сдвиговой Северо-Канадско-Северо-Гренландско-Шпицбергенской тектонической зоной в южной части [10], на западе – фрагментом внутриплитного рифта Лена (рифтовая впадина с сопряжённым хребтом, сложенным мантийными перидотитами), а на востоке – дислоцированным блоком континентальной коры – плато Ермак. С юга эта зона ограничена глубоководной депрессией с крутыми бортами, а с севера – приподнятым участком дна, севернее которого начинается котловина Нансена. Формирование названных структур началось задолго до заложения хребта Гаккеля и продолжилось вплоть до неотектоно-магматической активизации глобального Атлантико-Арктического рифтогенного пояса.

Оба мегабассейна, а также соединяющие их бассейны 2-го порядка (Лабрадор-Баффинский и Норвежско-Гренландский) характеризуются сходным

набором основных морфоструктурных элементов рельефа дна (домезозойские подводные окраины, мезозойские глубоководные котловины и поднятия, разделяющий их кайнозойский срединный хребет), последовательно прослеживаемых из Атлантического мегабассейна, через названные выше пороги, в Арктический мегабассейн (см. рис. 1, Б). Различия в размерах, конфигурации и динамике формирования перечисленных элементов рельефа дна этих мегабассейнов связаны с геодной формой Земли, обуславливающей, как известно, различную интенсивность тектонических процессов в приэкваториальной и полярной областях, вплоть до выклинивания

в последней, Арктической части этого глобального океана. При этом в рельефе дна Атлантико-Арктического океана с юга на север прослеживается закономерное увеличение относительной доли площадей, занимаемых подводными окраинами (от 15–20 до 60–70%) и глубоководными поднятиями (от 5 до 10%) на фоне сокращения площади глубоководных котловин (от 40–55 до 20%) и ширины срединных хребтов (от 25–30 до 5%).

2. Отличительными особенностями дна Атлантико-Арктического океана являются, во-первых, значительная относительная доля континентальной коры, слагающей домезозойские подводные окраины

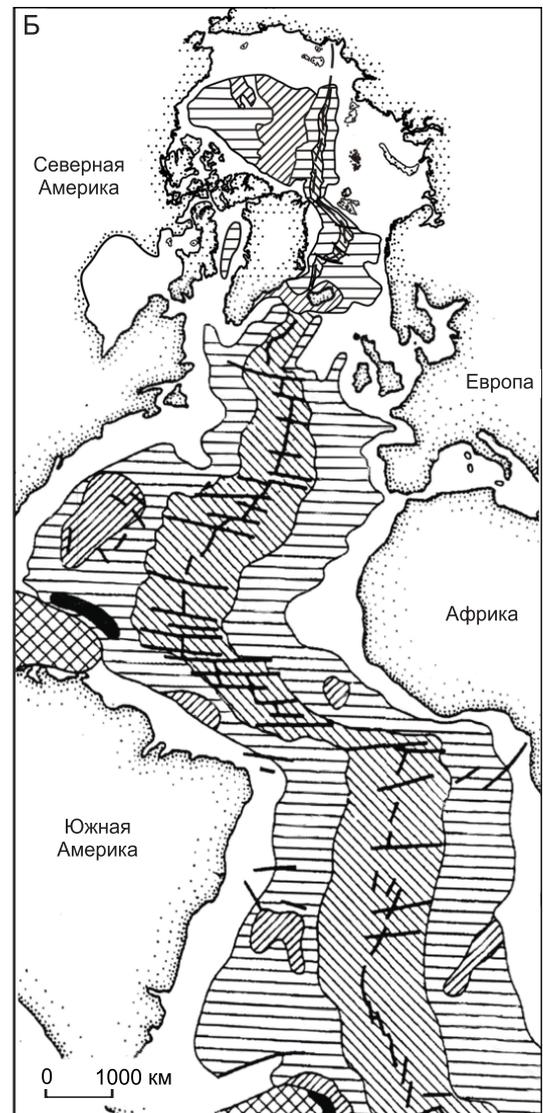
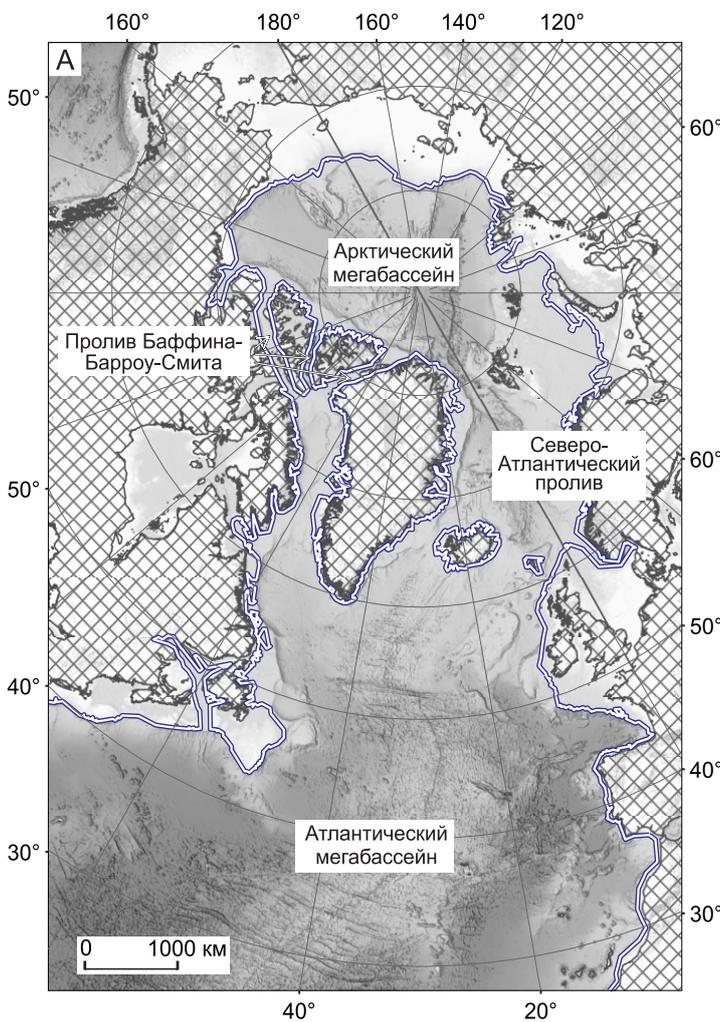
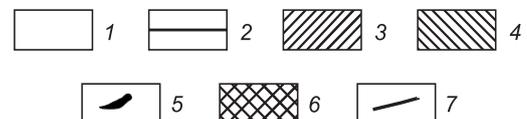


Рис. 1. Граница по изобате 200 м (А) и схема рельефа дна единого Атлантико-Арктического океана (Б):

1 – подводные окраины; 2 – котловины ложа океана; 3 – поднятия ложа; 4 – срединно-океанический хребет; 5 – глубоководные желоба; 6 – другие структуры; 7 – разломы



и мезозойские поднятия в глубоководном ложе (15–22% от площади Центральной Атлантики; 55–70% – в Северной Атлантике и 70–80% – в Арктике), а также наличие фрагментов континентальной литосферы как под котловинами океанического ложа, так и под разделяющими их Срединно-Атлантическим и Срединно-Арктическим хребтами. По данным U-Pb датировок ксеногенных и магматогенных генераций цирконов из пород третьего и второго слоёв океанической коры, их статистические максимумы (2800, 1800, 1000, 550, 275, 170 и 80–0,5 млн лет) соответствуют основным этапам формирования континентальной коры на сопредельных Северо-Американском, Африканском и Евро-Азиатском материках [7, 16]. Во-вторых, два этапа глобального растя-

жения Атлантико-Арктического рифта: мезозойский и кайнозойский. В-третьих, практически полное отсутствие глубоководных желобов (за исключением субширотного Пуэрто-Риканского (см. рис. 1, Б) и проявлений процессов субдукции с соответствующими островодужными ассоциациями магматических пород (за исключением Малых Антильских островов); к тому же последние имеют поперечное простирание относительно субмеридиональных континентальных окраин.

3. Эволюция Атлантико-Арктической рифтовой системы включает три главных этапа.

Первый этап (D–J) – заложение и развитие глобальной тектонической зоны в литосфере при расколе Пангеи с образованием прото-Атлантико-Арктической

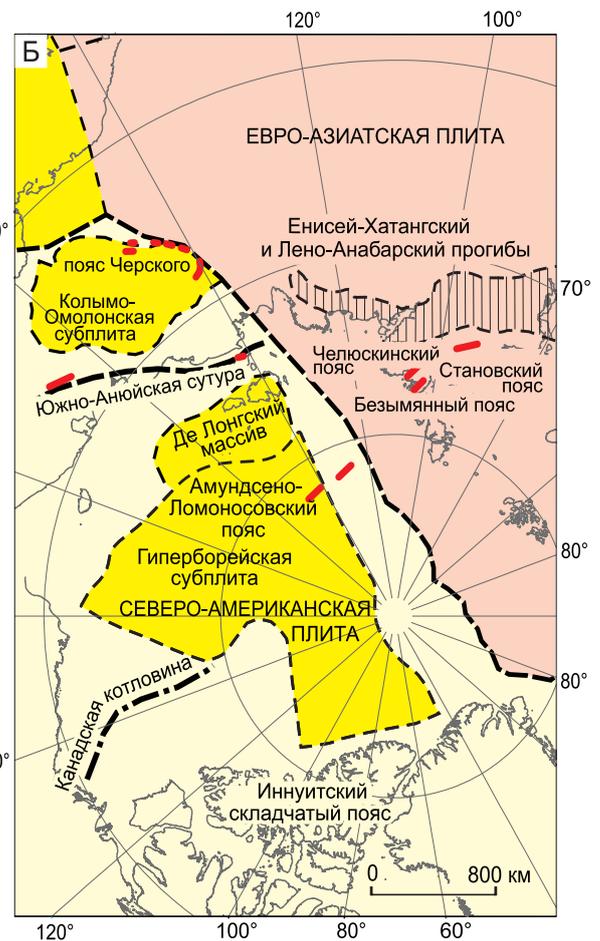
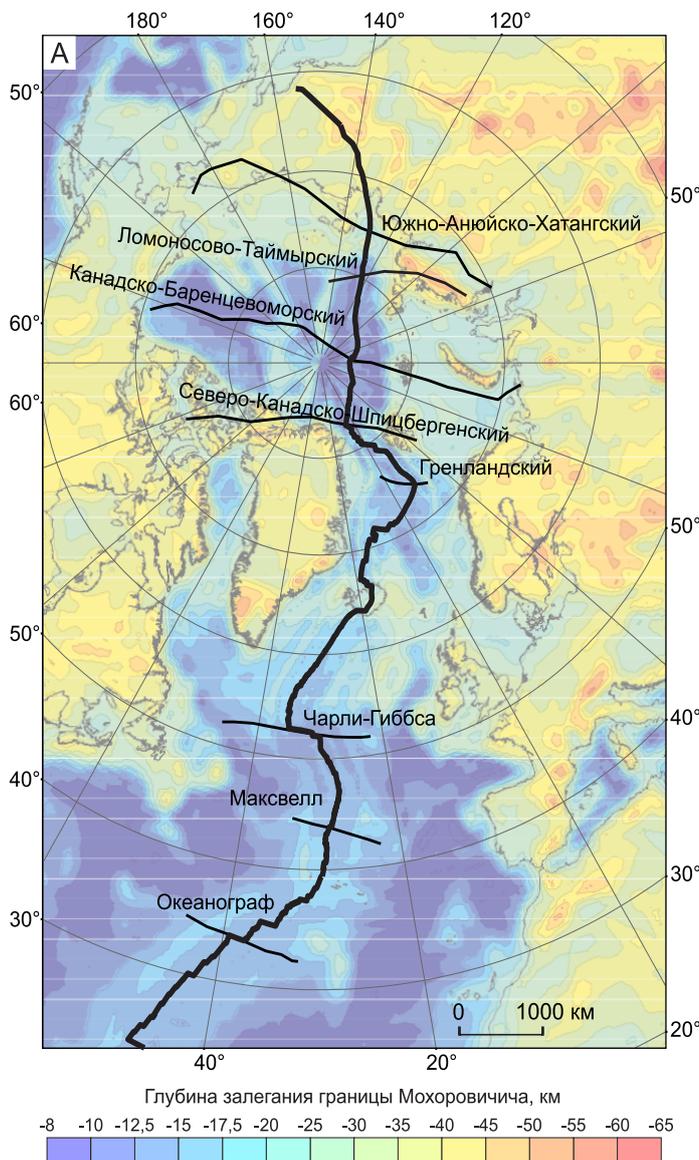


Рис. 2. Атлантико-Арктическая гетерохронная рифтогенная система (А) и схема размещения верхнепалеозойских офиолитовых поясов (Б)

рифтовой системы; сопровождается формированием ультрабазит-габбрового комплекса офиолитовой ассоциации в осевой субмеридианной зоне палеорифта и в сопряжённой с ним системе субширотных разломов (рис. 2, А, Б).

Второй этап (J_1-P_1) – растяжение континентальной коры относительно оси прото-Атлантико-Арктической рифтовой системы с разуплотнением и утонением континентальной коры в Арктическом и Северо-Атлантических бассейнах и её разрывом в Центрально-Атлантическом мегабассейне. Формирование в областях субширотных разломов впадин (Канадская, Макарова, Подводников, Нансена и Амундсена в Арктическом мегабассейне; Лабрадорская, Гренландская и Лофотенская в Северной Атлантике; Северо-Американская, Западно-Европейская и др. в Центрально-Атлантическом мегабассейне) и разделяющих их континентальных поднятий (см. рис. 1, Б) с площадным проявлением мелового, в том числе траппового, магматизма.

Третий этап (P_2 -наст. время) – неотектоно-магматическая активизация в осевой зоне Атлантико-Арктической рифтовой системы с формированием неовулканических зон в срединном хребте и в сопряжённых с ними блоках континентальной коры (Гренландско-Исландско-Фарерский порог и др.); сопровождается трещинными излияниями стекловатых базальтов, формированием вулканических конусов и гидротермальными проявлениями.

4. Геологические структуры, сформированные на каждом из этих этапов, характеризуются следующими особенностями.

- Фрагменты глобального позднепалеозойского внутривулканического рифта частично сохранились в современной осевой зоне срединного хребта (ксенолиты и реликты) и преимущественно – в сингенетических с ней субширотных тектонических швах приарктической части Евро-Азиатского континента. Они трассируются коренными выходами тектонизированных и метаморфизованных ультрабазит-габбровых пород (реже амфиболитов) офиолитовой ассоциации в субмеридианальной зоне рифта (борта рифтовой долины срединного хребта и континентальных окраин (о. Ньюфаундленд) в Центральной Атлантике и др., амагматические сегменты Северной Атлантики и пояс Черского в Восточной Арктике), а также – в сопряжённой системе субширотных тектонических швов (Северо-Таймырский, Южно-Анжуйский и др.) [11].

- Мезозойские глубоководные котловины и поднятия океанического ложа почти непрерывно прослеживаются в Атлантико-Арктическом океане по обе стороны от срединного хребта. В Центрально-Атлантическом бассейне: на западе – Канарская

и Западно-Европейская, на востоке – Гвинейская, Северо-Американская, Ньюфаундлендская и Лабрадорская котловины; поднятия: на западе – Сьерра-Леоне, на востоке – Сеара, Бермудское и др. В пределах Северо-Канадско-Гренландско-Балтийского порога: на западе – Норвежская и Гренландская, на востоке – Баффинская котловины; Исландско-Фарерское поднятие – на западе (см. рис. 1, Б). В Арктическом мегабассейне: на западе – котловины Нансена и Амундсена, на востоке – Макарова, Подводников и Канадская; поднятия: на западе – ЗФИ, Альфа-Менделеева и на востоке – Чукотское (см. рисунки 1, Б и 2). Перечисленные котловины и впадины располагаются на продолжении подводных материковых окраин и контролируются пассивными частями субширотных разломов. В котловинах Атлантического мегабассейна под рыхлым осадочным чехлом залегают покровы мезозойских лав толеитового состава. В Евразийском бассейне Арктики, по данным современных сейсмических материалов и результатов драгирования [4], на континентальном склоне котловины Нансена под кайнозойскими базальтами залегают базальные горизонты юрско-мелового, а в более погруженной котловине Амундсена – мелового возрастов. Глубоководные поднятия в котловинах Центральной Атлантики, например, одно из крупнейших – Бермудское плато – состоит из базальтов, перекрытых двухкилометровой толщей осадков и прорванных вулканами, образующими архипелаг одноимённых островов. В Американо-Арктическом бассейне Арктики подводные поднятия (Альфа-Менделеева, Чукотское и Де-Лонга) перекрыты мезозойскими (меловыми) траппами HALIP, как и выведенное на современную поверхность поднятие архипелага ЗФИ; докембрийский фундамент последнего (мощностью более 1300 м) вскрыт Нагурской скважиной на глубине 1887 м. Вышеперечисленные особенности строения и состава глубоководных котловин и поднятий, с одной стороны, подтверждают единство глобального Атлантико-Арктического океана, а с другой, ставят под сомнение плейтотектонический механизм мезозойского спрединга его дна, постулируемый с позиции магнитостратиграфии и, наконец, служат доказательством внутривулканического растяжения и базификации континентальной литосферы относительно оси глобальной позднепротерозойской рифтовой системы. Рассмотрение иных механизмов формирования глобальной рифтовой системы на мезозойском этапе выходит за рамки настоящей статьи, тем более, что они широко и обстоятельно обсуждались ранее в работах В. В. Белоусова (1976), С. У. Кэри (1991), Ю. М. Пушаровского (1992), Л. И. Красного (1984), И. С. Грамберга (2001), Е. Е. Милановского (1982), В. Н. Ларина (2005), Э. Н. Лишневецкого и А. А. Кременецкого (1975) и др.

• Срединный хребет глобального Атлантико-Арктического бассейна является гетерохронным образованием, характеризуется разнообразием морфоструктур и сменой тектонических режимов в ходе его развития. В осевой зоне рифта фиксируются реликты докембрийских и мезозойских палеорифтовых долин (протяжённые депрессии, отходящие от оси рифта или без видимой связи с последними). Древние базальты в пределах неовулканического хребта имеют аналогичное простирание и разбиты многочисленными трещинами; борта рифта сложены в разных пропорциях тектонизированными и серпентинизированными гипербазитами, габбро и другими метаморфизированными породами. Палеорифтовые долины,

сформировавшие древний структурный план, оказали влияние на пространственную ориентировку новообразованных структур рифтовой системы. При этом отмирающие пассивные части палеорифтовых долин смещены к периферии от оси кайнозойского растяжения, а продольные поднятия представлены неовулканическими экструзиями, потоками свежих лав и гидротермальными проявлениями.

• Неотектоно-магматическая активизация осевой зоны Атлантико-Арктического рифта проявилась её кайнозойско-четвертичным растяжением (до 1500–2000 км в Центральном Атлантическом мегабассейне и до 900–150 км в Арктическом), а также формированием в створе хребта неотектонических зон

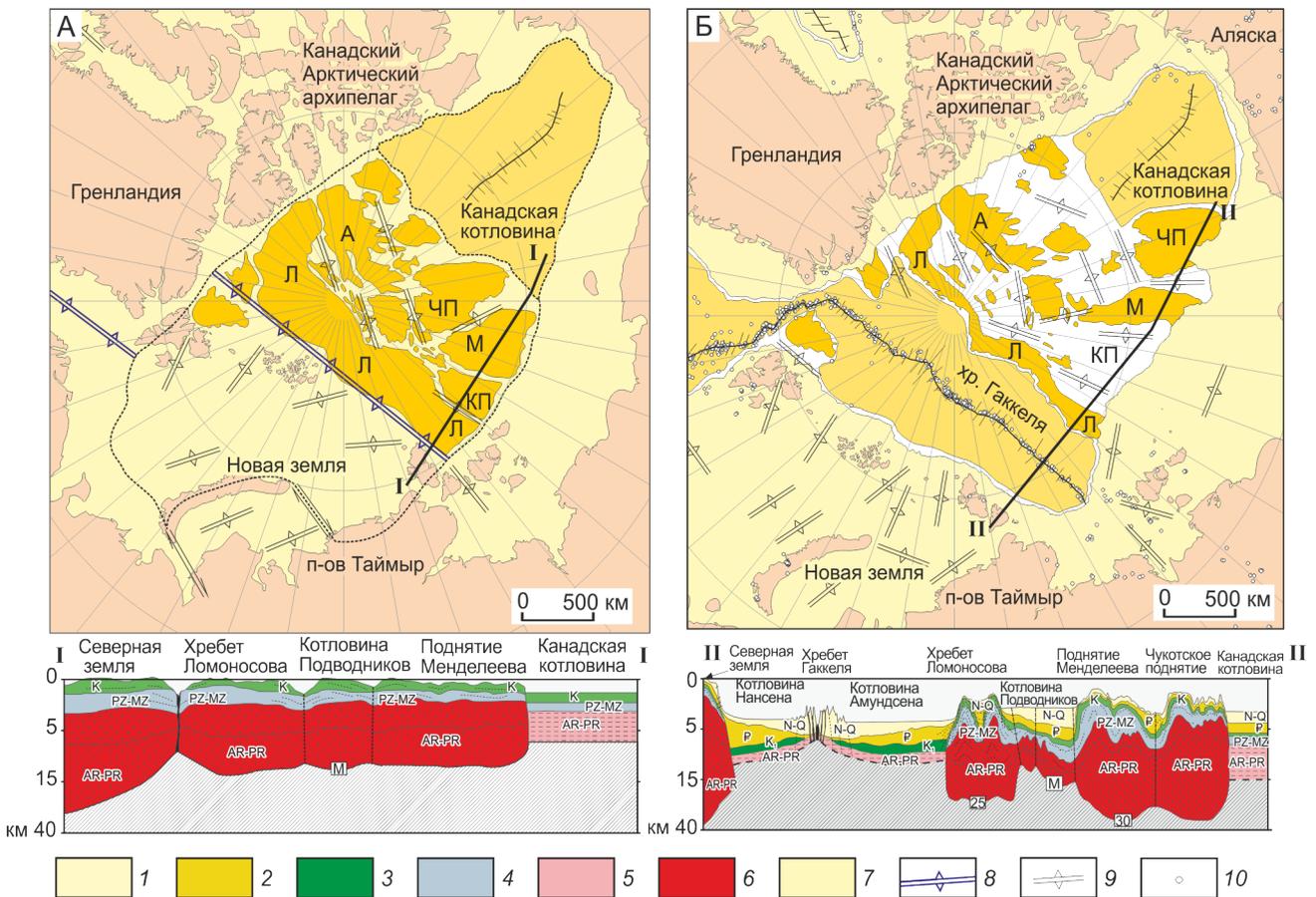


Рис. 3. Схемы морфо-геолого-геофизического строения дна Северного Ледовитого океана до заложения хребта Гаккеля (А) и в настоящее время (Б):

1 – рыхлые осадки; 2 – терригенные отложения; 3 – вулканогенно-терригенные и базальтоидные толщи; 4 – метаморфические и терригенные толщи; 5 – утонённые (разуплотнённые) блоки континентальной коры; 6 – блоки континентальной коры; 7 – шельф континентальной окраины; 8 – ось растяжения верхнепалеозойского внутриплитного рифта; 9 – локальные зоны растяжений; 10 – эпицентры землетрясений; Л – хребт Ломоносова; М – поднятие Менделеева; А – хребт Альфа; ЧП – Чукотское поднятие; КП – котловина Подводников

в Гренландско-Исландско-Фарерском пороге (Исландская неовулканическая зона) и в материковой окраине (Лаптевоморские грабены) с пролонгацией их на Евро-Азиатский континент Момским рифтом. Осевая зона срединного хребта в обоих мегабассейнах – Атлантическом и Арктическом – выполнена трещинными излияниями свежих стекловатых базальтов с вулканическими конусами и современными гидротермальными проявлениями; рифтовые долины Северной Атлантики отличаются широким развитием амагматичных сегментов длиной 30–145 км. В неовулканических зонах, в пределах Исландского континентального порога и Момского рифта, проявлен соответственно позднекайнозойско-четвертичный и четвертичный вулканизм.

В рамках рассмотренной выше модели формирования глобальной Атлантико-Арктической гетерохронной рифтогенной системы история развития Евразийского бассейна и хребта Гаккеля представляется следующим образом.

На первом этапе (D–J₁) – заложение глобального прото-Атлантико-Арктического внутриплитного рифта с образованием ультрабазит-габбрового комплекса офиолитовой ассоциации. Фрагменты этих пород в настоящее время сохранились в субширотной зоне сочленения Евразийского бассейна с хребтом Ломоносова (Амундсено-Ломоносовский пояс) [15] с возможной корреляцией последнего на западную прибрежную окраину материка (Северо-Таймырский офиолитовый пояс), а также на восточной окраине материка – осевой офиолитовый пояс Черского и субширотная Южно-Аннуйская сутура [11] (см. рисунки 2, Б и 3, А).

На следующем этапе (J₁–P₁) – межконтинентальное растяжение коры относительно оси позднепалеозойского Атлантико-Арктического рифта, по типу рассеянного спрединга, с образованием котловин Нансена и Амундсена, выполненных верхнемеловыми базальтами. Последние по условиям залегания и распространённости коррелируются с трапповой формацией НАЛIP, слагающей участки Баренцевоморского шельфа (ЗФИ), а также глубоководные котловины (Канадская, Макарова, Подводников) и поднятия (Альфа-Менделеева, Чукотское, Де-Лонга) в Амеразийском бассейне (см. рис. 3, Б).

И, наконец, заключительный этап (P₂–наст. время) – неотектоническая активизация древней глобальной Атлантико-Арктической рифтовой системы с формированием в Евразийском бассейне хребта Гаккеля (см. рис. 3, Б). Последний, в отличие от Центрально-Атлантического и Северо-Атлантического хребтов, характеризуется минимальной интенсивностью растяжения (13–6 мм/год) и максимальной (до 20–50%) относительной долей амагматических

сегментов в рифтовой зоне. Западный, Центральный и Восточный магматические сегменты хребта Гаккеля сложены толеитовыми базальтами. С запада на восток ширина раздвига дна океана вдоль хребта Гаккеля уменьшается (от 200 км в Западном сегменте до 100 км в Восточном с сужением его на востоке (120° в. д.) до 50 км), обуславливая наведенный шельфовый рифтогенез с формированием системы Лаптевоморских грабенов и их последующей

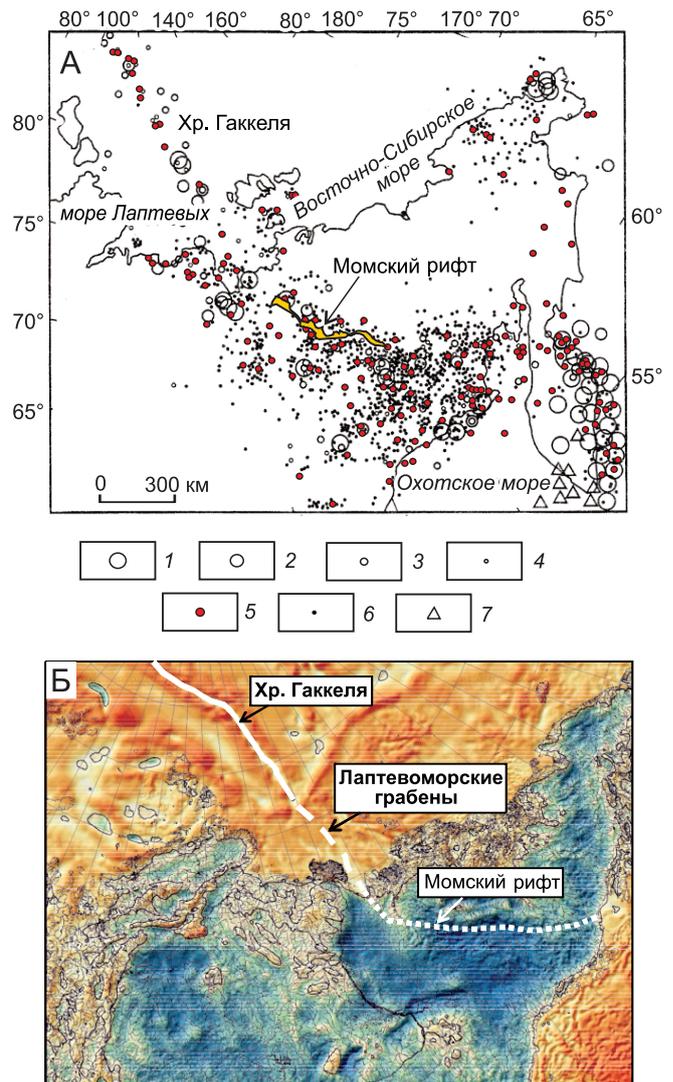


Рис. 4. Сейсмоактивные зоны (А) и положение оси неотектоно-магматической активизации перехода хребта Гаккеля через шельфовые Лаптевоморские грабены в континентальный Момский рифт на гравиметрической карте (Б):

1–6 – магнитуды землетрясений: 1 – > 6,0; 2 – 5,5–5,9; 3 – 5,0–5,4; 4 – 4,5–4,9; 5 – 4,0–4,4; 6 – < 4,0; 7 – глубоководные землетрясения Камчатки

продолгацией в зону сочленения Евро-Азиатского кратона и складчатых мезозойских сооружений (Момский рифт) (рис. 4, Б). Исследования, проведённые в Лаптевоморском бассейне (В. Л. Иванов и др., 2004), показали, что рифтовая деструкция здесь началась в конце позднего мела с заложения внутриконтинентального Северо-Омолыйского рифтогенного грабена с последующим развитием в этой зоне разломов рифтовой системы Гаккеля: конец палеоцена – эоцен – расширение позднемелового рифтового прогиба, ранний миоцен – рост хребта Гаккеля, поздний миоцен – перемещение разломов на юг с формированием на континенте (в плиоцене) Момского рифта.

Сравнительное геохимическое изучение вулканических пород Центрального САХ, Гренландско-Исландского порога, Северной Атлантики и хребта Гаккеля [10] показывает аномальное (в 2–10 раз) обогащение K_2O и лёгкими РЗЭ хребтов Арктического сектора. Аналогичную тенденцию проявляет также и большинство других литофильных элементов (Ba, Sr, Zr, Hf, Nb, Ta, Th, U, P) при сравнении базальтов Исландии и хребта Гаккеля с базальтами Центрально-Атлантического хребта и хребта Рейкьянес, указывая тем самым как на различный характер источников – глубинные плюмы, свидетельствующие об отсутствии мантийной конвекции, так и на контаминацию глубинных расплавов коровым материалом. Составы базальтов Западного сегмента хребта Гаккеля близки таковым N-MORB и хребта Колбенсей, тогда как в крайних точках этого хребта (на западе – Гренландско-Шпицбергенский порог, на востоке – вблизи Лаптевоморского шельфа) – E-MORB и Исландии. Голоценовые потоки базальтов вулкана Балаган-Тас в пределах Момского рифта представлены недифференцированной натровой серией щелочных базальтов, типичных для континентальных рифтов.

Зона неотектоно-магматической активизации (хребет Гаккеля–Лаптевоморские грабены–Момский рифт) характеризуется утонённой (разуплотнённой) корой, высоким тепловым потоком и аномальной сейсмоактивностью (см. рис. 4, А), а также наличием узких трогообразных впадин, заполненных позднекайнозойскими и четвертичными осадками, с синхронными вулканами в бортах Момо-Соленных впадин, что, таким образом, указывает на соответствие этой структуры внутриплитным рифтам. Последнее в купе с охарактеризованной выше моделью формирования гетерохронной Атлантико-Арктической рифтогенной системой, исключающей ключевую роль плейттектонических геодинамических механизмов, может рассматриваться в качестве одного из аргументов при обосновании континентальной природы

Восточного сегмента хребта Гаккеля, включённого в обновлённую заявку России по расширению внешней границы континентального шельфа.

Резюме. Таким образом, проблема геологической природы Евразийского бассейна и хребта Гаккеля решается с позиции новой модели формирования Атлантико-Арктической гетерохронной рифтогенной системы, исключающей решающую роль традиционных плейттектонических геодинамических обстановок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богданов Н. А.* Тектоника Арктического океана // Геотектоника. – 2004. – № 3. – С. 13–30.
2. *Верниковский В. А., Добрецов Н. Л., Каминский В. Д.* и др. Геодинамика Центральной и Восточной Арктики // Материалы совместного заседания Совета РАН по координации деятельности региональных отделений и региональных научных центров РАН и Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики. – Архангельск. – С. 41–58.
3. *Грамберг И. С., Деменицкая Р. М., Секретов С. Б.* Система рифтогенных грабенов шельфа моря Лаптевых как недостающего звена рифтового пояса хребта Гаккеля – Момского рифта // Докл. АН СССР. – 1990. – Т. 311, № 3. – С. 689–694.
4. *Дараган-Суцова Л. А., Петров О. В., Дараган-Суцовой Ю. И.* и др. История формирования Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана по сейсмическим данным // Региональная геология и металлогения. – 2020. – № 84. – С. 25–44.
5. *Жирнов А. М.* Морфоструктура дна Атлантики и Срединно-Атлантического хребта // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2019. – № 1. – С. 47–62.
6. *Кохан А. В., Дубинин Е. П., Грохольский А. Л.* Геодинамические особенности структурообразования в спрединговых хребтах Арктики и Полярной Атлантики // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. – 2012. – № 1. – Вып. 9. – С. 59–77.
7. *Кременецкий А. А., Белоусова Е., Шулятин О. Г.* и др. Источники вещества магматических пород глубоководного ложа Северного Ледовитого океана и Центральной Атлантики по данным U–Pb-возраста, изотопии Hf и геохимии РЗЭ цирконов // Доклады Академии наук. – 2018. – Т. 481, № 2. – С. 169–173.
8. *Кременецкий А. А., Костицын Ю. А., Морозов А. Ф.* и др. Источники вещества магматических пород поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) по изотопно-геохимическим данным // Геохимия. 2015. – № 6. – С. 487–500.
9. *Кременецкий А. А., Морозов А. Ф., Пилицын А. Г.* и др. Геохимическое картирование Циркумполярной Арктики: научная парадигма, технология, предварительные

- результаты // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 6. – С. 8–21.
10. *Кременецкий А. А., Пилицын А. Г., Веремеева Л. И.* и др. Эволюция фундамента, рифтогенез и нефтегазоносность Циркумполярной Арктики // Региональная геология и металлогения. – 2020. – № 83. – С. 14–32.
 11. *Кременецкий А. А., Спиридонов И. Г., Граменицкая П. Н.* Офиолиты Восточной Арктики: Геотектонические парадигмы и геохимическая реконструкция геодинамических обстановок // Разведка и охрана недр. – 2021. – № 6. – С. 14–28.
 12. *Морозов А. Ф., Петров О. В., Шокальский С. П.* и др. Новые геологические данные, обосновывающие континентальную природу области Центрально-Арктических поднятий // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 53. – С. 34–55.
 13. *Пискарев А. Л.* Строение фундамента Евразийского бассейна и центральных хребтов Северного Ледовитого океана // Геотектоника. – 2004. – № 6. – С. 49–66.
 14. *Пушаровский Ю. М., Мазарович А. О., Сколотнев С. Г.* Неотектоника океанского дна (Центральная Атлантика) // Геотектоника. – 2005. – № 2. – С. 3–16.
 15. *Шельфовые осадочные бассейны Российской Арктики: геология, геоэкология, минеральносырьевой потенциал* // под ред. Г. С. Казанина. Мурманск: АО «МАГЭ» – СПб.: «Реноме», 2020. – 544 с.
 16. *Шулятин О. Г., Трухалев А. И., Беляцкий Б. В., Кременецкий А. А.* Доокеаническая предыстория Срединно-Атлантического хребта и области Центрально-Арктических поднятий Северного Ледовитого океана по изотопно-геохронологическим и геологическим данным // 70 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане. – СПб., 2018. – С. 455–466.
 17. *Grachev A. F.* The Arctic rift system and the boundary between the Eurasian and North American lithospheric plates: new insight to plate tectonic theory // Russian Journal of Earth Sciences. – 2003. – V. 5, № 5. – P. 307–345.

REFERENCES

1. *Bogdanov N. A.* Tektonika Arkticheskogo okeana [Tectonics of the Arctic Ocean]. Geotektonika, 2004, No. 3, P. 13–30. (In Russ.)
2. *Vernikovskiy V. A., Dobretsov N. L., Kaminskiy V. D.* et al. Geodinamika Tsentral'noy i Vostochnoy Arktiki [Geodynamics of the Central and Eastern Arctic]. Materialy sovmestnogo zasedaniya Soveta RAN po koordinatsii deyatelnosti regional'nykh otdeleniy i regional'nykh nauchnykh tsentrov RAN i Nauchnogo soveta RAN po izucheniyu Arktiki i Antarktiki, Arkhangel'sk, P. 41–58. (In Russ.)
3. *Gramberg I. S., Demenitskaya R. M., Sekretov S. B.* Sistema riftingennykh grabenov shel'fa morya Laptevyykh kak nedostayushchego zvena riftovogo poyasa khrebta Gakkelya – Mомского rifta [The system of riftogenic grabens of the Laptev Sea shelf as a missing link in the rift belt of the Gakkel ridge – Mомsky rift]. Dokl. AN SSSR, 1990, V. 311, No. 3, P. 689–694. (In Russ.)
4. *Daragan-Sushchova L. A., Petrov O. V., Daragan-Sushchov Yu. I.* et al. Istoriya formirovaniya Yevraziyskogo basseyna Severnogo Ledovitogo okeana po seymicheskim dannym [History of the formation of the Eurasian basin of the Arctic Ocean according to seismic data]. Regional'naya geologiya i metallogeniya, 2020, No. 84, P. 25–44. (In Russ.)
5. *Zhirnov A. M.* Morfostruktura dna Atlantiki i Sredinno-Atlanticheskogo khrebta [Morphostructure of the bottom of the Atlantic and the Mid-Atlantic Ridge]. Geologiya i poleznye iskopyayemye Mirovogo okeana, 2019, No. 1, P. 47–62.
6. *Kokhan A. B., Dubinin Ye. P., Grokhol'skiy A. L.* Geodinamicheskiye osobennosti strukturoobrazovaniya v spreadingovykh khrebtakh Arktiki i Polyarnoy Atlantiki [Geodynamic features of structure formation in the spreading ridges of the Arctic and Polar Atlantic]. Vestnik KRAUNTS. Nauki o zemle, 2012, No. 1, Is. 19, P. 59–77. (In Russ.)
7. *Kremenetskiy A. A., Belousova Ye., Shulyatin O. G.* et al. Istochniki veshchestva magmaticheskikh porod glubokovodnogo lozha Severnogo Ledovitogo okeana i Tsentral'noy Atlantiki po dannym U–Pb-vozrasta, izotopii Hf i geokhimii RZE tsirkonov [Sources of matter of igneous rocks of the deep-sea bed of the Arctic Ocean and Central Atlantic according to the U – Pb age, Hf isotopy and REE geochemistry of zircons]. Doklady Akademii nauk, 2018, V. 481, No. 2, V. 169–173. (In Russ.)
8. *Kremenetskiy A. A., Kostitsyn Yu. A., Morozov A. F.* et al. Istochniki veshchestva magmaticheskikh porod podnyatiya Mendeleeyeva (Severnnyy Ledovityy okean) po izotopno-geokhimicheskim dannym [Sources of matter of magmatic rocks of the Mendeleev Rise (Arctic Ocean) according to isotope-geochemical data]. Geokhimiya, 2015, No. 6, P. 487–500. (In Russ.)
9. *Kremenetskiy A. A., Morozov A. F., Pilitsyn A. G.* et al. Geokhimicheskoye kartirovaniye Tsirkumpolyarnoy Arktiki: nauchnaya paradigma, tekhnologiya, predvaritel'nyye rezul'taty [Geochemical mapping of the Circumpolar Arctic: scientific paradigm, technology, preliminary results]. Razvedka i okhrana neдр, 2015, No. 6, P. 8–21. (In Russ.)
10. *Kremenetskiy A. A., Pilitsyn A. G., Veremeyeva L. I.* et al. Evolyutsiya fundamenta, riftingenez i neftegazonosnost' Tsirkumpolyarnoy Arktiki [Basement evolution, rifting and oil and gas potential of the Circumpolar Arctic]. Regional'naya geologiya i metallogeniya, 2020, No. 83, P. 14–32. (In Russ.)
11. *Kremenetskiy A. A., Spiridonov I. G., Gramenitskaya P. N.* Ofiolity Vostochnoy Arktiki: Geotektonicheskiye paradigmy i geokhimicheskaya rekonstruktsiya geodinamicheskikh obstanovok [Ophiolites of the Eastern Arctic: Geotectonic paradigms and geochemical reconstruction of geodynamic settings]. Razvedka i okhrana neдр, 2021, No. 6, P. 14–28. (In Russ.)

12. *Morozov A. F., Petrov O. V., Shokal'skiy S. P.* et al. Novyye geologicheskiye dannyye, obosnovyvyayushchiye kontinental'nuyu prirodu oblasti Tsentral'no-Arkticheskikh podnyatiy [New geological data substantiating the continental nature of the region of the Central Arctic uplifts]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2013, No. 53, P. 34–55. (In Russ.)
13. *Piskarev A. L.* Stroyeniye fundamenta Yevraziyskogo basseyna i tsentral'nykh khrebtov Severnogo Ledovitogo okeana [The structure of the basement of the Eurasian basin and central ridges of the Arctic Ocean]. *Geotektonika*, 2004, No. 6, P. 49–66. (In Russ.)
14. *Pushcharovskiy Yu. M., Mazarovich A. O., Skolotnev S. G.* Neotektonika okeanskogo dna (Tsentral'naya Atlantika) [Neotectonics of the ocean floor (Central Atlantic)]. *Geotektonika*, 2005, No. 2, P. 3–16. (In Russ.)
15. *Shel'fovyye osadochnyye basseyny Rossiyskoy Arktiki:* geologiya, geoekologiya, mineral'nosyr'yevoy potentsial [Shelf sedimentary basins of the Russian Arctic: geology, geocology, mineral resource potential]. Ed. G.S. Kazanina, AO "MAGE", Murmansk, St. Petersburg: "Renome", 2020, 544 p. (In Russ.)
16. *Shulyatin O. G., Trukhalev A. I., Belyatskiy B. V., Kremennetskiy A. A.* Dookeanicheskaya predystoriya Sredinno-Atlanticheskogo khrebtva i oblasti Tsentral'no-Arkticheskikh podnyatiy Severnogo Ledovitogo okeana po izotopno-geokhronologicheskim i geologicheskim dannym [Preoceanic prehistory of the Mid-Atlantic ridge and the region of the Central Arctic uplifts of the Arctic Ocean according to isotope-geochronological and geological data]. *70 let v Arktike, Antarktike i Mirovom okeane*, St. Petersburg, 2018, P. 455–466. (In Russ.)
17. *Grachev A. F.* The Arctic rift system and the boundary between the Eurasian and North American lithospheric plates: new insight to plate tectonic theory. *Russ. J. Earth Sci.*, 2003, V. 5, No. 5, P. 307–345.

Журнал «Отечественная геология» принимает участие в геологических конференциях, совещаниях, съездах в качестве информационного партнёра, освещая на своих страницах важные события отрасли.

Приглашаем к сотрудничеству представителей геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов по вопросам размещения рекламы или издания целевого номера.