

УДК [551.4+552.5]:[550.834](268.9)

МОРФОЛОГИЯ И СТРОЕНИЕ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ПРОТЯЖЕННЫХ СЕГМЕНТОВ ХРЕБТА ГАККЕЛЯ

© 2023 г. А. Л. Пискарев^{1,2,*}, академик РАН В. Д. Каминский¹,
В. А. Поселов¹, А. А. Киреев¹, В. А. Савин¹, О. Е. Смирнов¹,
Д. В. Безумов¹, Г. И. Ованесян¹, Д. В. Элькина¹

Поступило 02.11.2022 г.
После доработки 07.11.2022 г.
Принято к публикации 08.11.2022 г.

Выполненные в 2019–2020 гг. исследования хребта Гаккеля на НЭС “Академик Федоров”, включавшие съемку с профилографом и сейсмоакустические исследования, а также полученные в 2011–2015 гг. сейсмические данные, позволяют подразделить рифтовую долину хребта Гаккеля на три сегмента. К западу от 75° в.д. рифтовая долина проходит примерно посередине хребта Гаккеля, как это и должно быть в предположении, что она проходит вдоль оси спрединга, образовавшего этот хребет. Восточнее 75° в.д. рифтовая долина смещена к юго-западному краю хребта, что приводит к выводу о сравнительно недавнем (плиоценовом) перескоке оси спрединга в современное положение. Наконец, к югу от кальдеры Гаккеля (около 120° в.д., 81° с.ш.) рифтовая долина предстает на разрезах как молодой грабен в многокилометровой толще осадков.

Ключевые слова: Хребет Гаккеля, сейсмоакустика, рифтовая долина, осадочный чехол, спрединг, тектоника

DOI: 10.31857/S2686739722602526, **EDN:** TННRAW

Хребет Гаккеля в геоморфологическом отношении представляет собой протяженное линейное поднятие со сложно расчлененным рельефом. На всем протяжении (1800 км) хребет окружен абиссальными равнинами, а в прилаптевоморской части контактирует с подъемом (рис. 1).

Хребет Гаккеля занимает особое место в глобальной системе срединно-океанических хребтов, имея самую медленную скорость разрастания. Современная скорость спрединга варьирует, по одним оценкам, от 12.8 мм/год вблизи Гренландии до 6.5 мм/год вблизи сибирской континентальной окраины [1], по другим – составляет 4–6 мм/год, уменьшаясь по направлению к востоку, а в раннем миоцене снижалась до 3–5 мм/год [2, 3]. Другой отличительной особенностью хребта Гаккеля является присутствие крупных вулканических структур, которое было обнаружено в западной части хребта Гаккеля во время экспедиции AMORE 2001 [3, 4].

Уникальная особенность сверхмедленных хребтов – амагматические рифты, обнажающие мантийный перидотит (дополненный выходами базальтов и габбро) непосредственно на морском дне, на хребте Гаккеля выражена столь ярко, что было предложено отнести его к новому (четвертому) типу границ плит [5, 6].

Недавними геохимическими исследованиями обнаружено, что породы морского дна в западной части хребта Гаккеля имеют геохимические признаки раннемеловой зоны палео-субдукции [7]. Результатом другого цикла геохимических и палеотектонических исследований явился вывод, что формирование хребта Гаккеля связывается с начальной рифтовой стадией тектогенеза, без значительного раздвига дна Евразийского бассейна [8]. На сложность истории формирования Евразийского бассейна и хребта Гаккеля указывают также асимметрия рельефа дна и фундаментально-глубоководных котловин, отсутствие упорядоченности в пространственном распределении и мощностях отдельных слоев осадочных пород, асимметричное и несогласное относительно простирания хребта Гаккеля положение градиентных зон гравитационных и магнитных аномалий [2, 3].

В ходе экспедиционных работ 2019 и 2020 г. на судне “Академик Федоров” в сопровождении атомных ледоколов ФГУП “АТОМФЛОТ” выполнено 15 пересечений хребта Гаккеля и его

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение “Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга” (ФГБУ “ВНИИОкеангеология”), Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: apiskarev@gmail.com

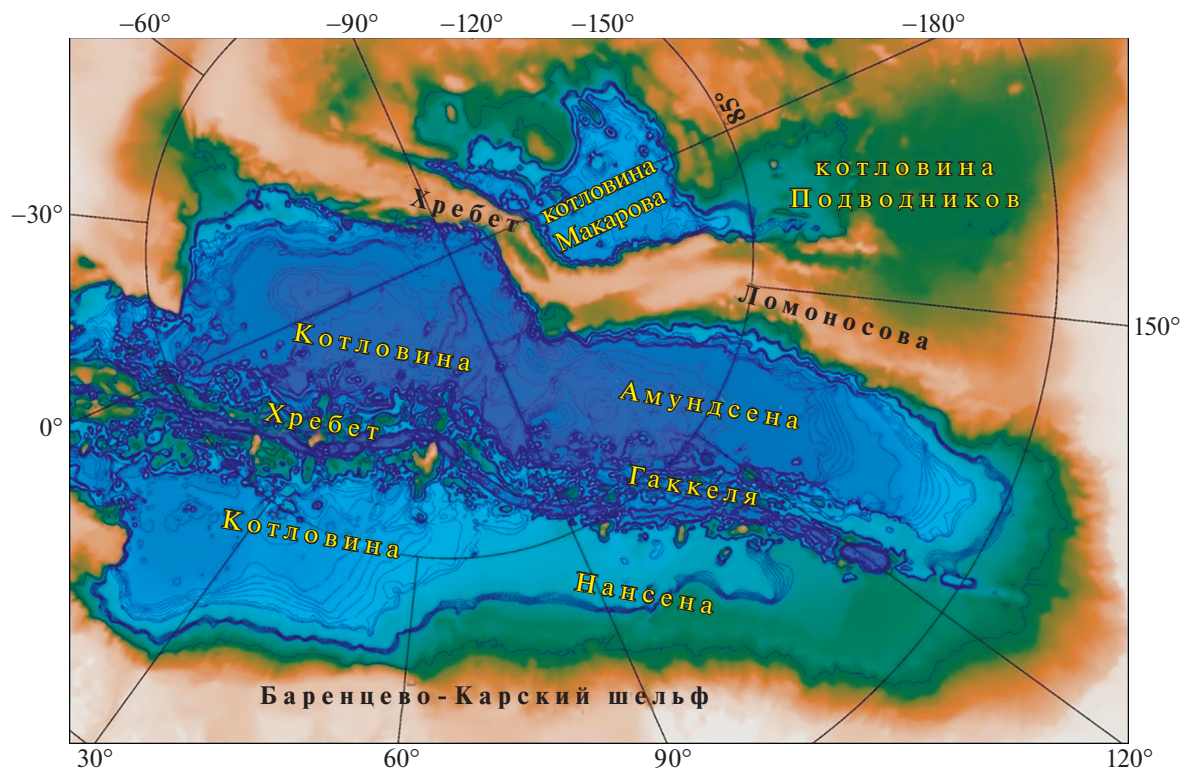


Рис. 1. Батиметрическая карта Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана.

рифтовой долины с использованием профилографа и сейсмоакустического профилирования. Использовался глубоководный параметрический профилограф TOPAS PS18 (Kongsberg), входивший в состав навигационно-гидрографического комплекса на базе многолучевого эхолота EM122. Для обеспечения оптимальной глубины проникновения, высокой разрешающей способности и наилучшего соотношения сигнал/шум, сбор данных осуществлялся в режиме “CHIRP”-импульс с линейной частотной модуляцией и диапазоном частот от 2 до 6 кГц, длина импульса 10 или 20 мкс. Непрерывное сейсмоакустическое профилирование проводилось с буксируемыми заборными устройствами, включавшими электроискровой источник “Спаркер” с центральной частотой излучения в диапазоне 200–300 Гц и многоканальную аналоговую сейсмокошу Split-MultiSeis Streamer с количеством каналов от 16 до 24 и шагом между каналами – 2 м. Регистрация проводилась на сеймостанции SplitMultiSeis Station Beta и SplitMultiSeis Station 24bit с 16 и 24-рядными АЦП соответственно.

В то же время на основе вновь составленной во ВНИИОкеангеология базы батиметрических данных, дополняющих мировую базу данных IVSAO-4, появилась возможность построения более детальной карты уклонов морского дна Евразийского бассейна. Разрезы рельефа дна

хребта Гаккеля и данные профилографа и сейсмоакустики о распространении осадочных толщ, полученные в ходе экспедиций 2019–2020 гг., в ряде случаев совмещены с полученными ранее сейсмическими данными и дополнены профилем 2015-1В, полученным в Мурманской Арктической геолого-геофизической экспедицией в южной части Евразийского бассейна. Новые данные вкпе с результатами сейсмических исследований 2011–2015 гг. позволили более полно выявить особенности морфологии различных участков хребта и его рифтовой долины.

Величина уклонов рельефа дна и сейсмические данные отражают подразделение хребта Гаккеля и его рифтовой долины на три сегмента. В западной части, западнее 75° в.д., ширина хребта составляет 180–210 км. Рифтовая долина проходит примерно посередине хребта Гаккеля. Рельеф хребта выглядит сильно расчлененным. В глубокой, с врезом более 1.5 км, рифтовой долине осадки отсутствуют, а осадочные толщи мощностью в первые десятки метров появляются лишь на значительном удалении от рифтовой долины (рис. 2).

Восточнее 75° в.д. рифтовая долина смещена к юго-западной окраине хребта. Площадь дна океана с пологими склонами увеличивается, занимая более половины всей площади этого сегмента хребта Гаккеля, ширина которого колеблется в

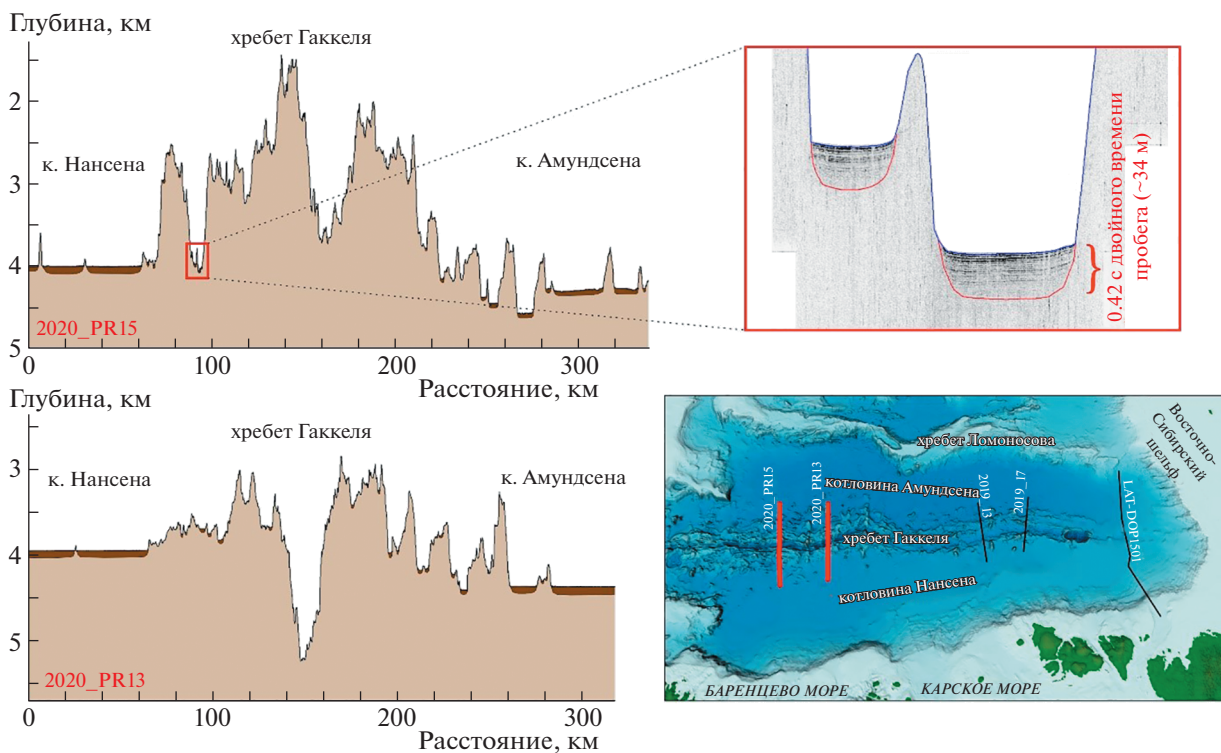


Рис. 2. Разрезы, полученные с профилографом в западной части хребта Гаккеля (на рисунке профили 2020_PR15 и 2020_PR13).

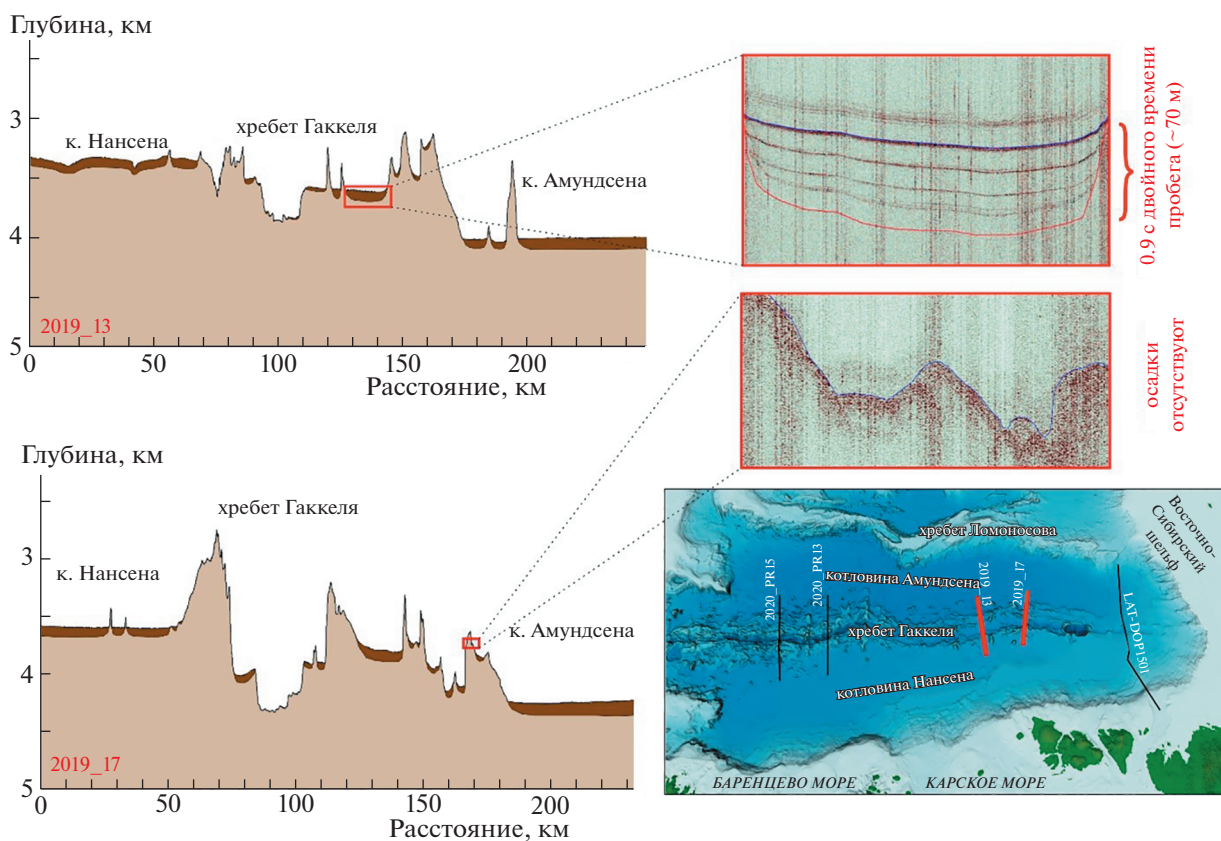


Рис. 3. Разрезы (профили 2019_13 и 2019_17), полученные с профилографом в восточной части хребта Гаккеля.

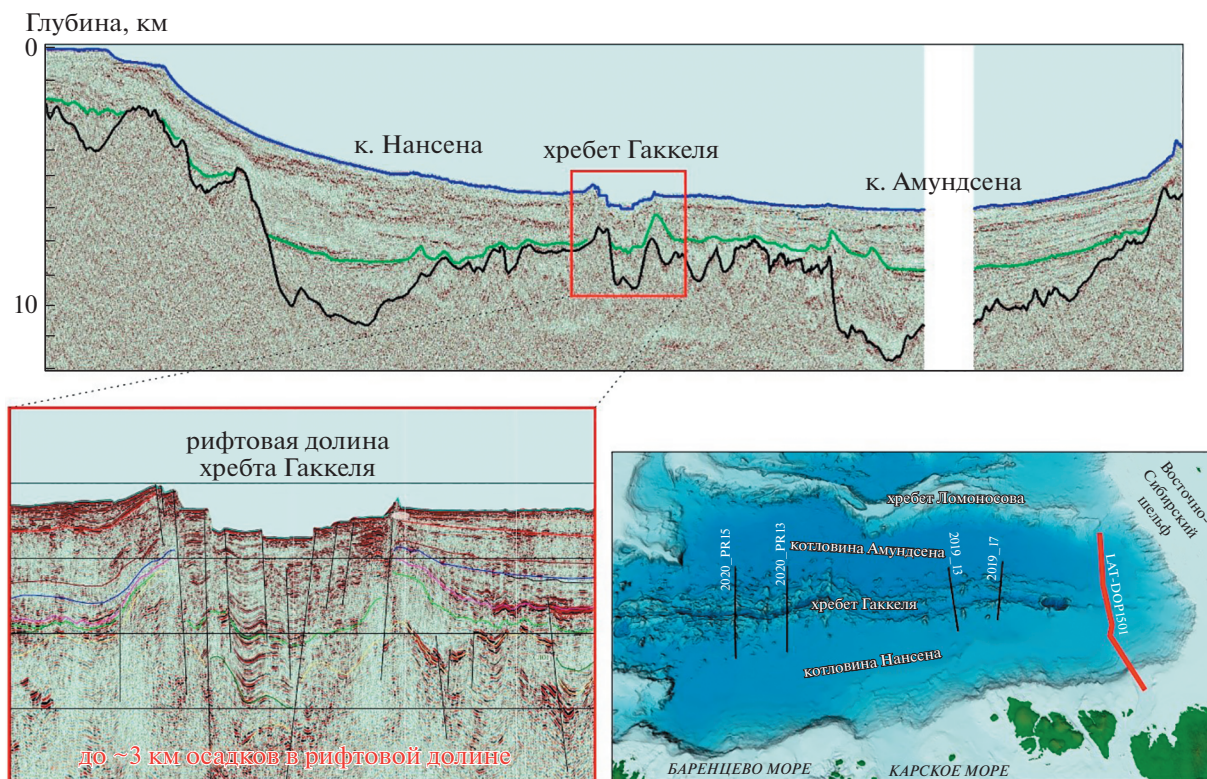


Рис. 4. Строение осадочной толщи вдоль профиля 2015_1В в южной части Евразийского бассейна и фрагмент верхней части разреза под рифтовой долиной хребта Гаккеля. Черная линия – акустический фундамент, зеленая – предполагаемая подошва отложений Кайнозоя [2, 3].

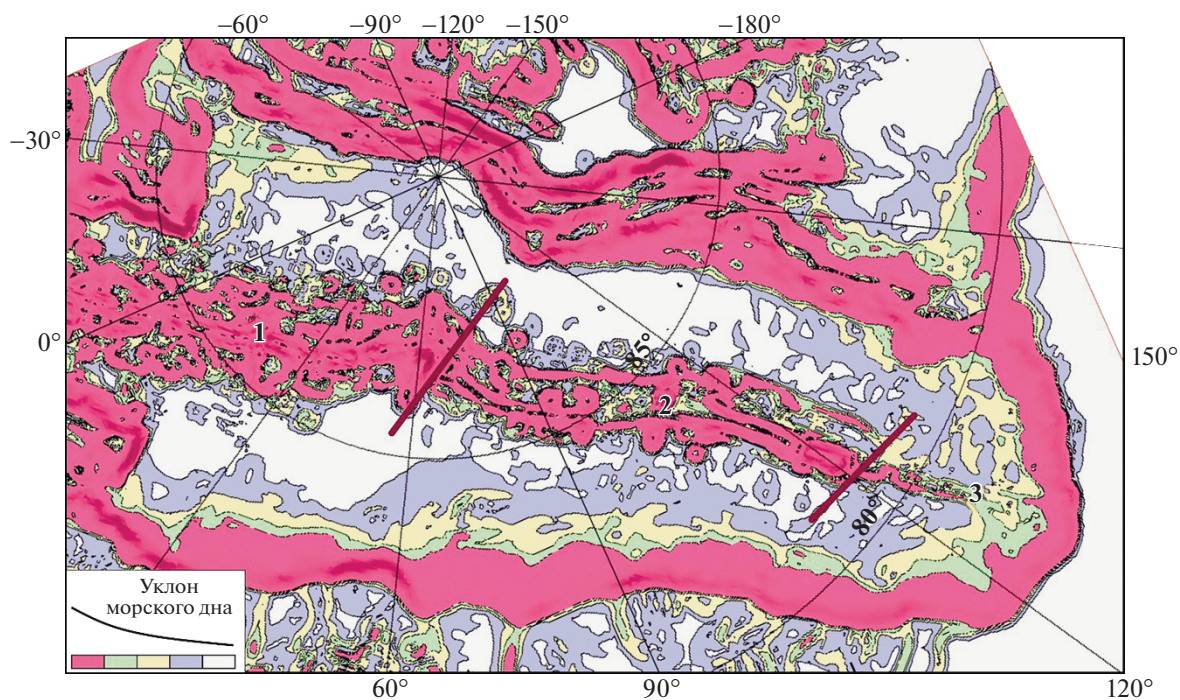


Рис. 5. Три сегмента хребта Гаккеля (1 – западный, 2 – восточный, 3 – южный), различия в строении которых иллюстрируются картой уклонов морского дна.

пределах 105–130 км. Величина вреза рифтовой долины находится в диапазоне 0.5–1.0 км, а наличие осадочных толщ мощностью более 70 м зафиксировано на различных участках профилей, включая и рифтовую долину (рис. 3). По сейсмическим данным [2], осадочные толщи также фиксируются на протяженных участках профилей, и местами их мощность достигает более 1 км.

Наконец, резкое изменение характера рифтовой долины до грабена глубиной несколько сотен метров происходит южнее гигантской кальдеры, расположенной на продолжении хребта Гаккеля. Грабен продолжается до границы шельфа моря Лаптевых. Разломы, образующие борта грабена, прослеживаются вглубь мощной (до 4–5 км) осадочной толщи, и, по имеющимся данным, нижние слои сложены позднемезозойскими отложениями (рис. 4).

Размер (80 × 45 км) кальдеры, размещенной на хребте Гаккеля вблизи точки с координатами 120° в.д., 81° с.ш., относит ее к категории супервулканов с высшим индексом вулканической взрывоопасности (8). Вероятно, это было мощнейшее извержение вулкана, оставившее значительные следы в топографии и осадконакоплении Северного Ледовитого океана [9]. По-видимому, именно это извержение повлияло на недавнюю (плейстоценовую) перестройку спрединга восточной части Евразийского бассейна, вызвав скачок оси спрединга хребта Гаккеля, в результате чего его рифтовая долина и эпицентры землетрясений расположены на его юго-западном фланге.

Карта уклонов морского дна Евразийского бассейна (рис. 5) наглядно отображает изменение характера рельефа хребта Гаккеля и его рифтовой долины на всем его протяжении.

На карте отчетливо видно подразделение хребта Гаккеля на три различных сегмента, резко различающихся по строению и, очевидно, и по истории формирования. Западная часть представляет собой классический медленно-спрединговый срединно-океанический хребет. Строение восточного сегмента хребта Гаккеля позволяет

предположить его формирование как результат нескольких фаз спрединга, с последним скачком оси, имевшим место в плиоцене и вызванным образованием супервулкана на месте кальдеры. А в районе южного сегмента хребта Гаккеля рифтовая долина переходит в грабен, образование которого инициировано, вероятно, тем же плиоценовым супервулканом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cochran J.R. Seamount volcanism along the Gakkel Ridge, Arctic Ocean // *Geophys. J. Int.* 2008. V. 174. P. 1153–1173.
2. Арктический бассейн (геология и морфология). Ред. В.Д. Каминский. СПб: ВНИИОкеангеология, 2017. 291 с.
3. Geologic structures of the Arctic Basin. Ed. Alexey Piskarev, Victor Poselov, Valery Kaminsky. Springer, 2019. 375 p.
4. Thiede J. and the Shipboard Scientific Party. Polarstern Arctic XVII/2 Cruise Report: AMORE 2001 (Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition). Alfred Wegener Institute. 2002. V. 421. P. 297.
5. Jokat W., Schmidt-Aursch M.C. Geophysical characteristics of the ultraslow spreading Gakkel Ridge, Arctic Ocean // *Geophys. J. Int.* 2007. V.168. P. 983–998.
6. Snow J.E., Edmonds H.N. Ultraslow-spreading ridges. Rapid paradigm changes // *Oceanography*. 2007. V. 20. № 1. P. 90–101.
7. Sohn R.A., Willis C., Humphris S., et al. Explosive volcanism on the ultraslow-spreading Gakkel Ridge, Arctic Ocean // *Nature*. 2008. V. 453. P. 1236–1238.
8. Richter M., Nebel O., Maas R., Mather B., Nebel-Jacobsen Y., Capitanio F.A., Dick H.J.B., Cawood P.A. An Early Cretaceous subduction-modified mantle underneath the ultraslow spreading Gakkel Ridge, Arctic Ocean // *Science Advances*. 2020. V 6. Issue 44. 29 p.
9. Кременецкий А.А., Пилицын А.Г., Веремеева Л.И., Морозов А.Ф., Петров О.В., Петров Е.И. Эволюция фундамента, рифтогенез и нефтегазоносность Циркумполярной Арктики // *Региональная геология и металлогения*. 2020. № 83. С. 14–32.
10. Piskarev A., Elkina D. Giant caldera in the Arctic Ocean: Evidence of the catastrophic eruptive event // *Nature Sci. Rep.* 2017. V. 7. P. 1–8.

MORPHOLOGY AND SEDIMENTARY COVER STRUCTURE OF THE GAKKEL RIDGE'S LONG SEGMENTS

A. L. Piskarev^{a,b,#}, Academician of the RAS V. D. Kaminsky^a, V. A. Poselov^a, A. A. Kireev^a, V. A. Savin^a, O. E. Smirnov^a, D. V. Bezumov^a, G. I. Ovanessian^a, and D. V. Elkina^a

^aRussian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean named after Academician I.S. Gramberg (FSBI "VNIIOkeangeologia"), St. Petersburg, Russian Federation

^bSt. Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation

[#]E-mail: apiskarev@gmail.com

The rift valley of the Gakkel Ridge was divided into three segments according to the sub-bottom profiling and seismoacoustic studies, carried out by R/V "Akademik Fedorov" at the Gakkel Ridge in 2019–2020, and

on seismic data of 2011–2015. West of 75° E, the rift valley crosses the Gakkel Ridge approximately in the middle, as it was expected based on the assumption that the rift valley runs along the spreading axis that formed this ridge. East of 75° E the rift valley shifts to the southwestern edge of the ridge and, thus, it can be concluded that the spreading axis jumped to its present position relatively recently (in the Pliocene). Finally, to the south of the Gakkel caldera (about 120° E, 81° N), the rift valley is manifested itself in the sections as a young graben in many kilometers of sediments.

Keywords: Gakkel Ridge, seismoacoustics, rift valley, sedimentary cover, spreading, tectonics