### **———** ГЕОФИЗИКА **—**

УДК 55: 551.24

# СТРОЕНИЕ ХАТАНГСКО-ЛОМОНОСОВСКОЙ ЗОНЫ РАЗЛОМОВ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Э. В. Шипилов<sup>1,\*</sup>, член-корреспондент РАН Л. И. Лобковский<sup>2</sup>, С. И. Шкарубо<sup>3</sup>

Поступило 12.04.2019 г.

По результатам интерпретации геофизических данных рассмотрены особенности строения Хатангско-Ломоносовской зоны (ХЛЗ) разломов, адаптированной к полосе сочленения Лаптевоморской континентальной окраины со структурами Евразийского спредингового бассейна и хребта Ломоносова. На примере отдельных звеньев ХЛЗ показано её отражение в аномальных геофизических полях, в волновой сейсмической картине на разрезах и проиллюстрирован характер её кинематических взаимоотношений с разнородными тектоническими элементами. Обосновываются тектоническая природа, роль и место этой зоны разломов в геодинамической эволюции региона.

*Ключевые слова*: Арктический океан, Хатангско-Ломоносовская зона разломов, Лаптевоморская континентальная окраина, Евразийский бассейн, хребет Ломоносова, сейсмические разрезы, геофизические поля, тектоника, геодинамическая эволюция.

**DOI:** https://doi.org/10.31857/S0869-56524873304-309

Одним из проблемных вопросов тектоники Арктического океана является выяснение взаимоотношений хребта Ломоносова с континентальной окраиной Евразии. Становление этого хребта неразрывно связано с геодинамической эволюцией Евразийского спредингового бассейна. По существующим представлениям в процессе позднемелового-палеоценового рифтогенеза, переросшего в эоцене в спрединг, сублинейная полоса континентальной коры хребта Ломоносова откололась от Баренцево-Карско-Лаптевской окраины и мигрировала до нынешнего своего положения. Несмотря на появление значительного объёма новых геолого-геофизических данных, проблема перемещения хребта Ломоносова в совокупности с геодинамической эволюцией Евразийского бассейна остаётся предметом острых дискуссий. По одной версии считается, что хребет Ломоносова перемещался в ансамбле структур в составе Северо-Американской литосферной плиты при её дивергенции с Евразийской и, таким образом, не менял своего положения относительно внутриплитных тектонических элементов. Сторонники контрверсии отстаивают позицию, по которой хребет Ломоносова в составе образовавшейся новой

контрверсии отстаивают позицию, по которой хребет Ломоносова в составе образовавшейся новой Амеразийской микроплиты [10] в процессе раскрыПолярный геофизический институт
Кольского научного центра
Российской Академии наук, Мурманск
2 Институт океанологии им. П.П. Ширшова

Российской Академии наук, Москва <sup>3</sup>OAO "Морская арктическая геологоразведочная

экспедиция", Мурманск \*E-mail: shipilov@pgi.ru тия Евразийского бассейна испытывал правостороннее смещение по Хатангско-Ломоносовской зоне разломов или трансформе. В такой трактовке эта полоса разломов служит определённого рода геодинамической границей между Амеразийской микроплитой, с одной стороны, и Евразией, с другой.

В данной работе по результатам интерпретации геофизических данных рассмотрены особенности строения Хатангско-Ломоносовской зоны разломов (ХЛЗ), адаптированной к полосе сочленения Лаптевоморской континентальной окраины со структурами глубоководного ложа океанического бассейна. Обосновываются тектоническая природа, роль и место этой зоны разломов в геодинамической эволюции зоны перехода континент—океан.

В силу недостаточной геолого-геофизической изученности тектонические реконструкции и трактовка отмеченных выше версий сталкиваются с рядом проблемных вопросов. Среди них следует отметить прежде всего проблему, связанную с объяснением отсутствия регулярных линейных магнитных аномалий в самом южном сегменте Евразийского бассейна. Кроме того, не получает объяснения тот факт, что современная длина хребта Ломоносова (около 1700 км) значительно уступает по протяжённости континентальной окраине, от которой он оторвался (около 2200 км) [8, 9]. Вместе с тем рассуждения о компенсации растяжения в рифтах Лаптевоморской континентальной окраины в ответ на воздействие раскрытия Евразийского бассейна представляются неубедительными: ширина бассейна у подножия окраины составляет здесь около 400 км, тогда как суммарная величина растяжения в рифтах моря Лаптевых в несколько раз меньше. Это с большей степенью вероятности свидетельствует об участии сдвиговой компоненты в геодинамических взаимоотношениях между развивающимся Евразийским бассейном и Лаптевоморской континентальной окраиной. Контрастная глубинно-латеральная асимметрия Евразийского бассейна, запечатлённая на сейсмическом разрезе по профилю, проложенному через Северный полюс вкрест простирания этого бассейна [4], с учётом медленного на начальном этапе развития и последующего ультрамедленного спрединга даёт основание говорить о ещё не раскрытой специфике в его геодинамической эволюции. Не исключается и вероятность того, что потребуется необходимость пересмотра возрастной датировки линейных магнитных аномалий в Евразийском бассейне. В этом отношении мы уже приводили аналогию с перескоком оси спрединга в Норвежско-Гренландском бассейне [12, 14].

Представляется, что ответы на многие из этих вопросов может дать изучение строения ХЛЗ. Наши аргументы и доводы в пользу выделения такой зоны (в отсутствие сейсморазведочных данных), её тектонической позиции и взаимоотношении со структурами континентального и океанического обрамления были изложены ранее в ряде публикаций ([2, 7-9] и др.). В этих работах отмечалось, что большинство структурно-тектонических элементов как со стороны Лаптевоморской континентальной окраины (её рифты, грабены и горсты), так и со стороны Евразийского океанического бассейна (включая хребет Гаккеля) и поднятия Ломоносова, завязаны на ХЛЗ [8, 9]. В совокупности этот тектонический узел представляет собой геодинамическую систему, отражающую характер сочленения и взаимодействия развивающегося океанического бассейна с континентальным окружением.

Геофизические исследования, проведённые (МАГЭ [3, 4]) с целью расшифровки строения и выяснения тектонической природы ХЛЗ, показывают, что эта зона представлена системой эшелонированных или кулисообразно расположенных субпараллельных разломов различной амплитуды и кинематики и обладает шириной порядка 20—30 км. В этой связи на приведённых иллюстрациях сейсмических разрезов продемонстрированы наиболее характерные черты тектоники, связанные с отдельными звеньями ХЛЗ.

На фрагменте сейсмического разреза, расположенного в западной части моря Лаптевых, на выходе

из Хатангского залива и пройденного вкрест простирания рассматриваемой зоны разломов, зафиксирована веерообразная система нарушений шириной ~25 км (рис. 1). Она осложняет вершину ступенеобразного поднятия на борту Западно-Лаптевского рифтового бассейна серией обратных сбросов. Запечатлённая тектоническая ситуация по всем признакам отражает сдвиговый характер этого отрезка ХЛЗ. Такая картина весьма характерна для сдвигов в земной коре и отражает верхнюю часть цветковой структуры нарушений. Как уже отмечалось [13], о сдвиговой природе разломов свидетельствуют изменения мощности в коррелятивных стратиграфических комплексах на различных структурных уровнях и изменения гипсометрических отметок фундамента по обе стороны разломов. Аналоги такой сейсмической картины волнового поля имеются и в других регионах [15]. Левосторонние сдвиговые перемещения в этой части континентальной окраины по рассматриваемой зоне недавно были подтверждены результатами сейсмоакустических работ [1]. Такая ситуация, видимо, сохраняется на отрезке ХЛЗ до пересечения с осевой зоной спрединга хр. Гаккеля.

Далее на северо-восток ХЛЗ тянется в полосе, тяготеющей к бровке шельфа и несколько смещённой к склоновой части окраины, обращённой в котловину Амундсена, где она наиболее чётко маркируется аномалиями в потенциальных геофизических полях. Имеющийся здесь сейсмический разрез (рис. 2) несколько не доходит непосредственно до зоны ХЛЗ, но, судя по всему, находится в зоне её влияния. Он освещает строение осадочного чехла и фундамента, залегающего под нижней частью склона, подножьем и юго-восточным краем котловины Амундсена. На разрезе достаточно отчётливо запечатлена система ступенчатых сбросов континентального фундамента, сменяющегося в котловине сооружениями структур океанического типа, вероятно, связанных с наиболее молодой фазой спрединговых процессов. Поверх блоков, судя по волновой сейсмической картине, распространены потоки базальтоидных образований, они же присутствуют в перекрывающем синрифтовом комплексе отложений. Учитывая положение базальтоидов в подошве отложений при общей мощности осадочного чехла 6-7 км, скорее всего их возраст можно оценить как меловой (апт-альбский?). Магматизм аналогичного возраста известен на поднятии Де-Лонга и в Анжуйско-Новосибирском рифте [13].

На фрагменте сейсмического разреза по профилю A-7 (рис. 3) отображается характер сочленения

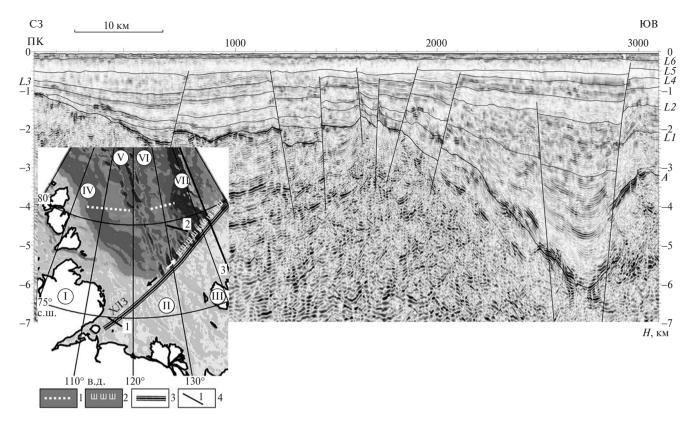
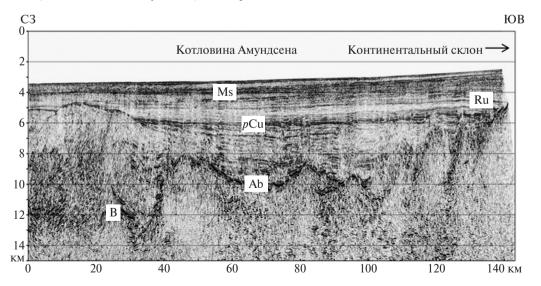
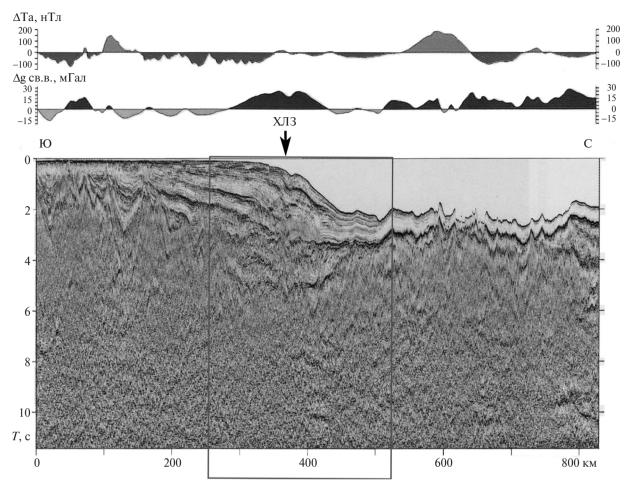


Рис. 1. Сейсмогеологический разрез по профилю МОВ ОГТ 200711 [4] в юго-западной части Лаптевоморской континентальной окраины вкрест простирания Хатангско-Ломоносовской зоны разломов (ХЛЗ). Сейсмические отражающие горизонты и сейсмокомплексы между ними: A–L1 — нижне-верхнемеловой; L1–L2 — верхнемеловой; L2–L3 — палеоцен-эоценовый; L3–L4 — верхнеолигоцен-среднемиоценовый; L4–L5 — средне-верхнемиоценовый; L5–L6 — дно моря — плиоцен-четвертичный. На врезке: схема основных структурно-геоморфологических элементов и расположение профилей сейсмических разрезов. 1 — граница, за которой южнее регулярные линейные магнитные аномалии не прослеживаются; 2 — сбросы; 3 — ХЛЗ; 4 — положение разрезов, приведённых в статье, цифры возле линий — номер рисунка. Стрелки — кинематика перемещений по ХЛЗ. Цифры в кружках: I — Таймыр, II — шельф моря Лаптевых, III — о-ва Новосибирского архипелага; Евразийский бассейн: IV — котловина Нансена, V — хр. Гаккеля; VI — котловина Амундсена; VII — хр. Ломоносова.



**Рис. 2.** Сейсмический разрез МОВ ОГТ по профилю LAT 1403 (МАГЭ), иллюстрирующий строение зоны сочленения котловины Амундсена с континентальной окраиной. Положение на врезке рис. 1. В основании осадочного чехла отчетливо видна ступенчатая система блоков, смещённых по листрическим сбросам. Обозначения на разрезе: Ab — акустический фундамент, B — базальтоидные тела; несогласия в осадочном чехле: pCu — посткампанское, Ru — предмиоценовое, Ms — мессинское.

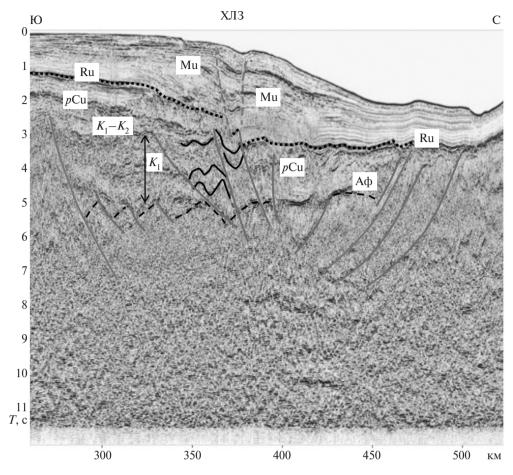


**Рис. 3.** Сейсмический разрез МОВ ОГТ по региональному профилю А-7 [3–5, 10]. Положение на врезке рис. 1. Над разрезом — графики аномального гравитационного (мГал) и магнитного (нТл) полей. XЛ3 — Хатангско-Ломоносовская зона разломов. Прямоугольник — увеличенный фрагмент разреза, помещённый на рис. 4.

хребта Ломоносова с континентальной окраиной через сложно построенную XЛЗ. Положение этой зоны разломов достаточно однозначно определяется по нарушенной структуре волнового поля на сейсмическом разрезе в интервале 360—390 км, связанных с ним графикам аномалий естественных физических полей и жёлобообразному углублению в рельефе дна (рис. 4). Именно к этой зоне разломов приурочен резкий перепад и раздув мощности проградационных комплексов кайнозоя, продвижение которых отмечается в северном направлении. Общая мощность отложений здесь, включая меловые, достигает порядка 8 км.

Довольно сложная ситуация наблюдается в низах осадочного чехла, представленного меловыми толщами, характеризующими собственно отложения Северного (Северо-Лаптевского) прогиба. Касаясь его тектонической природы и позиции как пограничной структуры, следует заметить, что, по существу, это типичный пример рифтогенного бассейна, "зажатого" между сброшенными блоками

акустического фундамента континентальной окраины, с одной стороны, и хребта Ломоносова, с другой. Ширина этого бассейна по профилю А-7 составляет около 200 км. В его срединной части в рельефе поверхности акустического фундамента и низов осадочного чехла выделяется структура с ясно выраженным V-образным сечением глубиной 1,5-2,0 км. Плечевые уступы образованы серией ротационных блоков. На разрезе в волновой картине акустического фундамента отчётливо проявлены многочисленные листрические субпараллельные нарушения: со стороны континентальной окраины они падают на север, а со стороны хребта Ломоносова — в южном направлении, сходясь, видимо, в нижней коре над выступом мантии. Положение этой срединной рифтовой (?) структуры и связанной с ней системы разломов в осадочном чехле однозначно отражено в рельефе дна в виде жёлобообразного углубления, свидетельствуя об унаследованности новейших структурообразующих процессов.



**Рис. 4.** Увеличенный фрагмент разреза МОВ ОГТ А-7. Положение на рис. 3. Обозначения отражающих сейсмических горизонтов см. рис. 2.

Судя по отражениям, указывающим на деформированность раннемеловых отложений, бассейн подвергался компрессионному воздействию в среднемеловое время. Вместе с тем между разломами ХЛЗ в отложениях просматриваются достаточно заметные амплитудные складки, что, в свою очередь, даёт основание для вывода об их транспрессионном происхождении.

Таким образом, XЛЗ представляет собой геодинамическую границу с комбинированной кинематикой. Судя по тектонической позиции, унаследованности, протяжённости и эшелонированности звеньев этой зоны, можно говорить о её непрерывнопрерывистом характере развития. По нашим представлениям, аналогичная характеристика присуща сдвиговой зоне разломов на гренладско-канадском ограничении хребта Ломоносова. Реализация движений по этим двум зонам обозначила переход к новой блоковой структуре литосферы с обособлением Амеразийской микроплиты в Арктическом регионе [10]. Время проявления правосдвиговых перемещений по ХЛЗ, скорее всего, можно соотнести с позднемеловым-раннепалеогеновым отрезком,

который связан с отколом хребта Ломоносова от Баренцево-Карско-Лаптевской окраины в процессе рифтинга на начальном этапе зарождения Евразийского бассейна. Геолого-геофизические данные свидетельствуют о синхронизации рифтинга в Евразийском бассейне с заложением Западно-Лаптевской рифтовой системы [6]. По результатам бурения скв. АСЕХ это событие завершилось в интервале ~65,5—56,2 млн лет назад и ознаменовалось на хребте Ломоносова эрозией отложений, что отмечено в разрезе посткампанским-предпозднепалеоценовым несогласием [11]. После этого начался спрединг в формирующемся Евразийском бассейне, в процессе которого хребет Ломоносова испытывал погружение ниже уровня моря вплоть до среднего эоцена. Не исключено, что выведение хребта Ломоносова вновь на уровень моря или выше также сопровождалось его сдвигом в течение наиболее длительного (~26 млн лет [11]) предмиоценового перерыва. Если следовать принятой стратификации основных отражающих горизонтов [3–5], то по всем признакам растяжение земной коры и сбросообразование в южном фланге хребта Ломоносова с некоторым сдвигом произошло после предмиоценового перерыва в осадконакоплении и связано с продвижением осевой зоны спрединга в южный сегмент Евразийского бассейна.

**Источник финансирования.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-70012.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Баранин В.Б.*, Флинт В.М., Римский-Корсаков Н.А. и др. // ДАН. 2018. Т. 480. № 3. С. 344—347.
- 2. Богданов Н.А., Хаин В.Е., Шипилов Э.В. // ДАН. 1995. Т. 345. № 1. С. 84–86.
- 3. Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. М.: Геос, 2011. В. 3. 182 с.
- 4. Инновационный вектор развития ОАО "МАГЭ". Мурманск: Мурманская миля, 2017. 264 с.
- 5. *Казанин Г.С., Шкарубо С.И., Павлов С.П. и др. //* Материалы IV Междунар. рабочей встречи по делимитации шельфа в Арктике. Сессия 3. СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. CDR\_pecypc.
- 6. *Кириллова-Покровская Т.А.* // Разведка и охрана недр. 2017. № 10. С. 30—38.

- 7. Объяснительная записка к Тектонической карте морей Карского и Лаптевых и севера Сибири 1:2500000 / Под ред. Н.А. Богданова, В.Е. Хаина, О.М. Розена, Э.В. Шипилова, В.А., Верниковского, С.С. Драчева, С.Л. Костюченко, А.Б. Кузьмичева, С.Б. Секретова. М.: Ин-т литосферы РАН, 1998. 127 с.
- 8. Шипилов Э.В. Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем. Кн. 1. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2001. С. 193—208. DOI: 10.13140/RG.2.2.29632.58885.
- 9. *Шипилов Э.В.* // Геотектоника. 2004. № 5. С. 26–52. DOI: 10.13140/RG.2.2.21459.22560.
- 10. *Шипилов Э.В., Лобковский Л.И.* // ДАН. 2012. Т. 445. № 6. С. 663–669.
- 11. Backman J., Jakobsson M., Frank M., et al. // Paleoceanography. 2008. V. 23. P. 3–18.
- 12. *Shipilov E.V.* // Geotectonics. 2008. V. 42. № 2. P. 105–124.
- 13. *Shipilov E.V.* // Rus. Geol. and Geophys. 2016. V. 12. P. 1668–1687.
- 14. Шипилов Е.В., Шкарубо С.И., Разницин Ю.Н. // ДАН. 2006. Т. 410. № 4. С. 506—511.
- 15. *Sobornov K.*, *Afanasenkov A.* // 78th EAGE Conference & Exhibition, 2016. Vienna, 2016. Pap. Th P5 03.

# STRUCTURE OF THE KHATANGA-LOMONOSOV FRACTURE ZONE ACCORDING TO SEISMIC DATA

E. V. Shipilov<sup>1</sup>, Corresponding Member of the RAS L. I. Lobkovsky<sup>2</sup>, S. I. Shkarubo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Polar Geophysical Institute, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russian Federation

<sup>2</sup>P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moskow, Russian Federation

<sup>3</sup>JSC "Marine Arctic Geological Research Expedition", Murmansk, Russian Federation

## Received April 12, 2019

According to the results of geophysical data interpretation considered the structural features of the Khatanga-Lomonosov fracture zones (HLZ), adapted to the strip joint part on the Laptev sea continental margin with the structures of the spreading of the Eurasian basin and the Lomonosov ridge. Its reflection in anomalous geophysical fields, in a wave seismic picture on sections is shown on the example of separate links of HLZ and the character of its kinematic interrelations with heterogeneous tectonic elements is illustrated. The tectonic nature, role and place of this fault zone in the geodynamic evolution of the region are substantiated.

*Keywords*: Arctic Ocean, the Khatanga-Lomonosov fracture zone, Laptev sea continental margin, Eurasian Basin, Lomonosov ridge, seismic sections, geophysical fields, tectonics, geodynamic evolution.