

СТРУКТУРА И ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА РИФТОВОЙ ЗОНЫ ХРЕБТА ГАККЕЛЯ (*Северный Ледовитый океан*)

П.В. Рекант^{1,2}, Е.А. Гусев¹

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга, 191120, Санкт-Петербург, Английский просп., 1, Россия*

² *Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, 199106, Санкт-Петербург, Средний просп., 74, Россия*

На основании анализа всего доступного объема сейсмических, а также магнитометрических данных делается вывод о том, что хр. Гаккеля разделяется тектонической шовной зоной 70° в.д. на Атлантический и Сибирский сегменты, имеющие различную структуру осадочного чехла и, следовательно, новейшую историю развития. В отличие от рифтовой долины Атлантического сегмента, рифтовая долина Сибирского характеризуется наличием в ней мощной толщи осадочного выполнения. Анализ основных особенностей седиментогенеза показывает, что осадочный чехол здесь, скорее всего, представлен реликтами обширного палеогенового бассейна, существовавшего на месте современного хр. Гаккеля. Растянутая во времени пульсационная история формирования рифтовой зоны хр. Гаккеля определила возникновение ансамбля структур, не находящих объяснения при использовании простой модели спрединга северо-атлантического типа. Затронутые в статье аномальные характеристики строения рифтовой зоны хр. Гаккеля могут объясняться формированием области рифтовых гор в результате аккреции магматического вещества в третичное время, без значительного разрастания океанического дна.

Рифтовая зона, осадочный чехол, Евразийский бассейн, Северный Ледовитый океан, хр. Гаккеля.

SEDIMENTS IN THE GAKKEL RIDGE RIFT ZONE (*Arctic Ocean*): STRUCTURE AND HISTORY

P.V. Rekant and E.A. Gusev

The available seismic and magnetic data show the Gakkel Ridge rift zone consisting of the Atlantic and Siberian segments divided by a tectonic suture at 70° E. The two segments have had different histories recorded in their sedimentary cover. Apart from the difference in its morphology, the Siberian segment differs from the Atlantic one in the existence of a series of deposition centers, which might represent a vast Paleogene basin that formed prior to the Gakkel Ridge. The simple model of North Atlantic spreading fails to explain the long and complex history of the Gakkel Ridge rift and the existence of the depocenters. The particular structure of this zone might have resulted from the growth of rift mountains by accretion of magmatic material during the Paleogene, without significant sea floor spreading.

Rift zone, sediments, Eurasian Basin, Arctic Ocean, Gakkel Ridge

ВВЕДЕНИЕ

Осадочный чехол любой геологической структуры является важным архивом, хранящим информацию обо всех значимых тектонических событиях в ее истории. Поэтому изучение структуры осадочного чехла рифтовой области хр. Гаккеля (ХГ) позволит получить информацию о формировании как самого хребта, так и смежных с ним бассейнов. Наиболее целесообразным методом решения подобной задачи является комплексная интерпретация геолого-геофизических данных, в первую очередь, сейсмических.

Первые региональные обобщения по структуре и истории формирования Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана (СЛО) в большей мере базировались на моделировании потенциальных полей и лишь частично — на интерпретации разрозненных сейсмических данных [Деменицкая, Киселев, 1968; Vogt et al., 1979; Sweeney et al., 1982; Киселев, 1986]. Идентификация серии линейных магнитных аномалий (ЛМА) в котловинах Нансена и Амундсена и их корреляции с магнитными аномалиями Северной Атлантики [Карасик, 1968; Vogt et al., 1979; Карасик и др., 1983; Глебовский и др., 2006] позволили предположить спрединговый генезис хр. Гаккеля и его структурную связь как с глобальной

системой срединно-океанических хребтов, так и с Момской рифтовой системой [Граumberг и др., 1990]. Было высказано предположение, что ХГ является самым молодым сегментом этой системы и имеет кайнозойский возраст [Карасик и др, 1983; Нарышкин, 1987; и др.]. Таким образом, спрединг-овая модель формирования была и остается общепризнанной для ХГ. Однако наряду с чертами сходства вскоре были описаны и важные отличительные характеристики хр. Гаккеля, выделяющие его из общего ряда срединно-океанических хребтов. Это, во-первых, экстремально тонкая земная кора в рифтовой зоне, ультразвуковые скорости спрединга и значительная глубина рифтовой долины.

Объектом настоящего исследования является рифтовая зона ХГ, включающая собственно рифтовую долину и смежную область рифтовых гор примерно до 5—6 ЛМА. Материалом для работы послужил весь доступный авторам сейсмический материал по региону. Важнейшим результатом исследования стало определение новых особенностей строения осадочного чехла ХГ, требующих, очевидно, пересмотра некоторых важных моментов существующих моделей его развития.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенное авторами районирование современных батиметрических [Jakobsson et al., 2012], магнитометрических [Gaina et al., 2011] и сейсмических [Glumov, 2012] данных показывает, что ХГ может быть разделен на Атлантический и Сибирский сегменты (рис. 1). Зона раздела прослеживается примерно по 70° в.д. и совпадает с областью резкого излома простирающихся основных структур региона. В связи с этим особый интерес вызывает совместное рассмотрение двух сейсмических профилей — AWI20010300 и AWI20010100 [Jokat, Micksch, 2004] (рис. 2), пересекающих рифтовую долину ХГ. И если первый профиль, пройденный в Атлантическом сегменте ХГ, говорит об отсутствии осадков в осевой зоне хребта, то второй показывает наличие более чем километровой толщи осадочного выполнения рифтовой долины в Сибирском сегменте.

Атлантический сегмент ХГ имеет основные черты спредингового бассейна атлантического типа. В морфологии хребта есть четко выраженная линейная рифтовая долина (см. рис. 1) с относительными превышениями рельефа фундамента до 3500 м [Нарышкин, 1987]. Склоны рифтовой долины представляют собой крутые эскарпы, сложенные магматическими породами (см. рис. 2, а). Драгированием здесь поднято значительное количество обломков базальтов, габбро-диабазов и перидотитов [Michael et al., 2003]. Аномальное магнитное поле имеет отчетливо выраженный линейный характер, здесь уверенно идентифицируются ЛМА от 2-й до 24-й [Vogt et al., 1979; Черных, Крылов, 2011] (см. рис. 1).

В то же время Сибирский сегмент существенно отличается по морфологии рифтовой зоны хребта, его магнитного и гравитационного полей, а также структуре осадочного чехла. Во-первых, рифтовая долина здесь имеет гораздо меньшую морфологическую выраженность (см. рис. 1). Относительные превышения в пределах рифтовой долины в среднем составляют 700—900, редко достигая 1500 м [Michael et al., 2003], причем максимальная контрастность рельефа часто наблюдается за пределами рифтовой долины в районе рифтовых гор. Во-вторых, линейность аномального магнитного поля менее выражена и уменьшается по мере приближения к зоне центриклинального замыкания бассейна. Сквозное трассирование ЛМА из Атлантического сегмента существенно затруднено из-за существования на границе сегментов зоны потери корреляции. Количество уверенно идентифицируемых ЛМА в Сибирском сегменте Евразийского бассейна значительно снижается. Большая часть аномалий прослеживается фрагментарно (см. рис. 1). В-третьих, в Сибирском сегменте ХГ принципиально меняется структура осадочного чехла рифтовой зоны. Здесь фиксируется целый ряд локальных депоцентров (рис. 2, б; 3) с мощностью осадочного выполнения от 0.5 до 3—4 км.

Впервые подобные депоцентры были обнаружены на нескольких сейсмических профилях в районе центриклинального замыкания Евразийского бассейна у Лаптевоморской континентальной окраины [Sekretov, 2002; Гусев и др., 2002] (см. рис. 3). Аномально мощный (до 4 км) чехол непосредственно в рифтовой долине ХГ был объяснен эффектом так называемого замирования спрединга и значительным приносом терригенного материала с Лаптевоморского шельфа.

Однако чуть позже [Jokat, Micksch, 2004] депоцентр с мощностью осадков около 1500 м был обнаружен в рифтовой долине ХГ в центре Евразийского бассейна (86° с.ш., 73° в.д.) на значительном удалении от существующих источников сноса (см. рис. 2, б; 3).

Свежие данные об осадочном чехле ХГ были получены в ходе экспедиции «Шельф-2011» [Glumov, 2012]. Десять сейсмических профилей были пройдены через котловину Амундсена в пределах Сибирского сегмента хр. Гаккеля. К сожалению, лишь один профиль полностью пересек рифтовую долину хребта, остальные были остановлены, не доходя до нее 30—50 км, в зоне рифтовых гор. Тем не менее на всех профилях в непосредственной близости от рифтовой долины были обнаружены аналогичные депоцентры со значительной мощностью осадочного чехла (см. рис. 3).

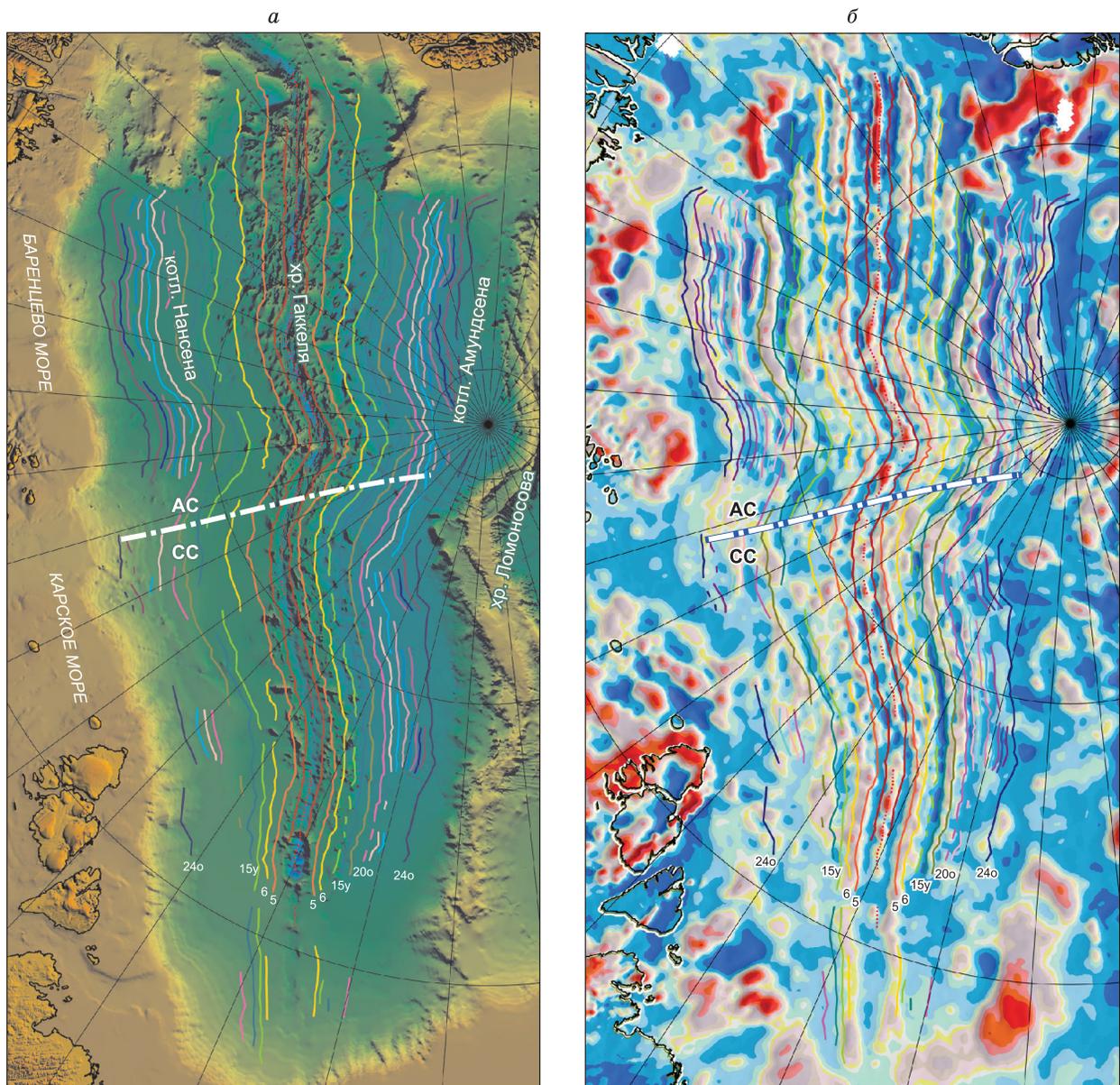


Рис. 1. Батиметрическая схема центральной части Евразийского бассейна СЛО [Jakobsson et al., 2012] (а) и фрагмент карты аномального магнитного поля [Gaina et al., 2011] (б) с положением ЛМА, по [Черных, Крылов, 2011].

Штрихпунктирной линией показана зона раздела хр. Гаккеля на Атлантический (АС) и Сибирский сегменты (СС).

Таким образом, все имеющиеся по Сибирскому сегменту ХГ сейсмические профили иллюстрируют общую структуру осадочного чехла (см. рис. 2). В центральной части котловины Амундсена осадочный чехол характеризуется мощностью до 2—3 км и заметно утоняется в сторону ХГ. В районе 15—16 ЛМА глубокие компенсированные бассейны сменяются контрастными выступами фундамента, разделенными серией локальных депоцентров с мощным осадочным заполнением [Рекант и др., 2015] (см. рис. 2, б). Последние уверенно прослеживаются на протяжении всей зоны рифтовых гор вплоть до рифтовой долины хребта (рис. 3). Существование подобной системы депоцентров в зоне рифтовых гор, фундамент которой, согласно палеомагнитным построениям [Vogt et al., 1979; Глебовский и др., 2006], не древнее 10 млн лет, требует серьезного геологического объяснения.

Располагаясь на расстоянии более чем 300—400 км от ближайших областей сноса, описываемая область характеризуется ультрамедленным пелагическим осадконакоплением. Фиксируемые по различным данным [Svindland, Vorren, 2002] следы гравитационного переотложения осадочного материала, по

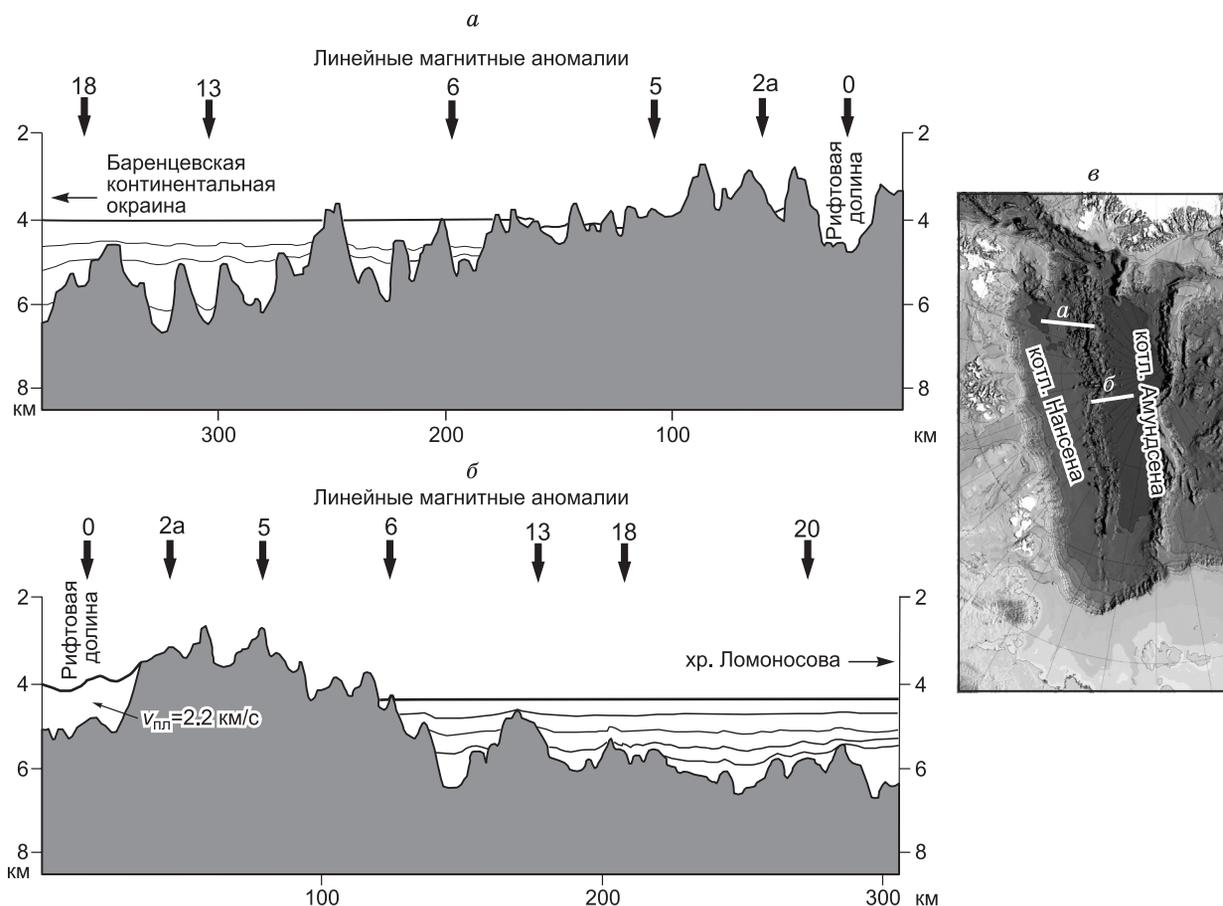


Рис. 2. Фрагменты сейсмических профилей AWI20010100 (а) и AWI20010300 (б) [Jokat, Micksch, 2004], пересекающих рифтовую долину хр. Гаккеля в Атлантическом и Сибирском сегментах соответственно.

Положение линейных аномалий приведено по [Глебовский и др., 2006]. Расположение профилей показано на врезке (в).

нашему мнению, обусловлены процессами размыва подводных возвышенностей локальными турбидитами, которые лишь перераспределяют уже накопленный здесь осадок. Ближайшая к ХГ часть котловины Нансена характеризуется минимальным уклоном морского дна (около 0.0002), что явно недостаточно для формирования высокоэнергетичных турбидитных потоков, способных транспортировать значительные объемы терригенного материала с баренцево-карского шельфа. Кроме того, современные батиметрические данные говорят об отсутствии в котловине Нансена разветвленной системы активных подводных каньонов, необходимых для функционирования подобной гипотетической системы. Еще менее вероятным выглядит переброс терригенного материала в котловину Амундсена через систему седиментационных ловушек ХГ.

Данные глубоководного бурения [Backman et al., 2008] на хр. Ломоносова, экстраполированные по сейсмическим данным в котловину Амундсена [Черных, Крылов, 2011; Weigelt et al., 2014; Рекант и др., 2015], свидетельствуют, что максимальные скорости осадконакопления в СЛО могут достигать 290 м/млн лет. Однако они характерны лишь для мелового комплекса выполнения узких локальных грабенов, аккумулирующих осадки со смежных орогенов в период тектонической активизации. По мере уменьшения тектонической активности, а также вследствие расширения бассейна аккумуляции скорости осадконакопления существенно и закономерно уменьшаются вверх по разрезу. Для третичного интервала они уже составляют 111—38.5 м/млн лет и характеризуют толщу прибрежно-морских и мелководно-шельфовых осадков. Скорости же пелагической седиментации последних 20 млн лет, по данным А.А. Черных и А.А. Крылова [2011], не превышали 12.6 м/млн лет, а по данным Дж. Бакмана с соавторами [Backmann et al., 2008], составляли от 14 до 23 м/млн лет. Сопоставив эти расчеты с моделью раскрытия Евразийского бассейна, можно выполнить оценку теоретически возможной мощности осадочного чехла на различном удалении от рифтовой долины ХГ. Так, в рифтовой долине с палеомагнитным

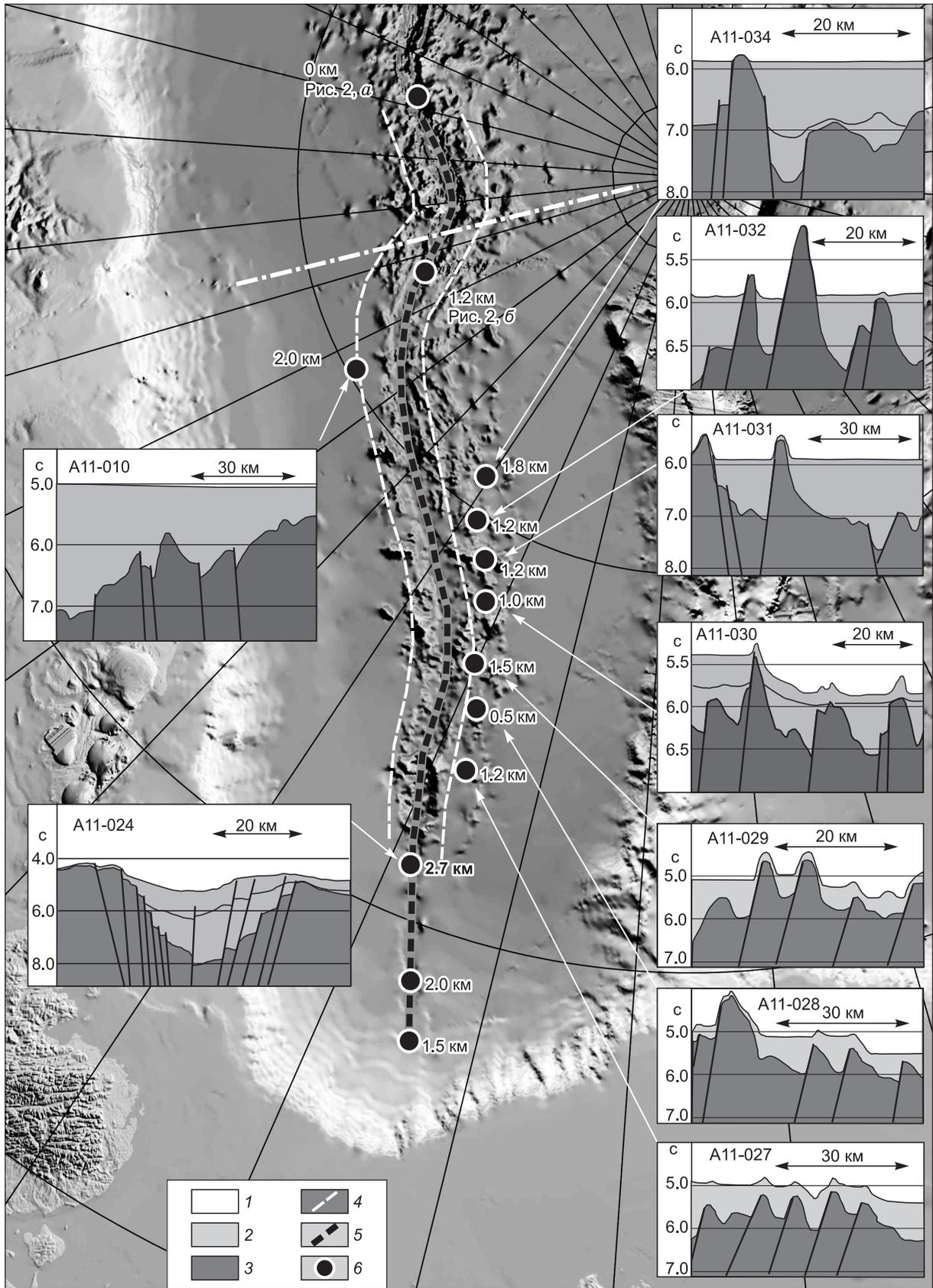


Рис. 3. Схема положения локальных депоцентров на фрагментах временных сейсмических профилей экспедиции «Шельф-2011» (A11-010...A11-034) [Sekretov, 2002; Гусев и др., 2002; Glumov, 2012].

1 — вода, 2 — слаблитифицированные осадки, 3 — акустический фундамент, 4 — положение 5-й ЛМА, 5 — рифтовая долина ХГ, 6 — положение локального депоцентра и мощность осадочного выполнения в нем. Штрихпунктирной линией показана зона раздела хр. Гаккеля на Атлантический (АС) и Сибирский (СС) сегменты.

возрастом фундамента менее 2 млн лет максимальная мощность осадков не должна превышать 40 м, а в зоне рифтовых гор ($LMA < 5$) 200 м. Подобные расчеты хорошо коррелируются с данными глубоководного бурения на хр. Ломоносова [Backman et al., 2008], где мощности верхнемиоцен-плиоценовых отложений (литологический комплекс 1/3) составляют порядка 120, а четвертичных отложений (литологический комплекс 1/2) порядка 20 м.

Однако сейсмические данные [Sekretov, 2002; Гусев и др., 2002; Jokat, Micksch, 2004; Glumov, 2012] свидетельствуют о наличии в зоне рифтовых гор целого ряда локальных депоцентров осадконакопления с мощностью чехла более 1 км. В двух случаях такие депоцентры наблюдаются непосредственно в рифтовой долине, в остальных восьми — в ее непосредственной близости (см. рис. 3). Кроме того, общая структура чехла ХГ позволяет уверенно прогнозировать наличие такой же структуры и в ряде других мест вдоль простираения хребта.

Таким образом, для устранения противоречия между сейсмическими и модельными данными необходимо допустить либо значительное, в 10—100 раз, увеличение скоростей пелагического осадконакопления до значений 100—150 м/млн лет либо же предположить гораздо более древнее время заложения описанных выше структур.

Примеры существования мощных толщ плиоцен-четвертичных образований в глубоководной Арктике действительно существуют. Однако все они относятся к проградационным толщам континентальных склонов, быстро выклинивающихся в сторону океана [McNeil et al., 2001]. Так, например, в центральной части впадины Подводников мощность синокеанических миоцен-четвертичных осадков, по нашим данным, варьирует в небольших пределах, от 300 до 500 м, что говорит о незначительных различиях в скоростях седиментации в центре впадины (17 м/млн лет) и на ее бортах (27 м/млн лет). Учитывая неизменность морфоструктурного плана региона на синокеаническом этапе, можно с уверенностью утверждать, что в центральной части Евразийского бассейна, характеризующегося дефицитом осадков, скорости пелагической аккумуляции в пределах 100—150 м/млн лет практически невозможны.

Резюмируя вышесказанное, можно утверждать, что единственным логичным объяснением существования мощных локальных депоцентров в пределах зоны рифтовых гор и непосредственно в самой рифтовой долине Сибирского сегмента ХГ является их древнее, скорее всего, третичное (доолигоценное?), а не миоцен-плиоценовое заложение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги вышеизложенному, можно сделать следующие выводы.

1. Хребет Гаккеля разделяется тектонической шовной зоной 70° в.д. на Атлантический и Сибирский сегменты, имеющие различную структуру осадочного чехла и, следовательно, новейшую историю развития. Подобная сегментация хребта подтверждается также различиями в морфологии и структуре аномального магнитного поля.

2. Осевая часть Сибирского сегмента характеризуется наличием системы локальных депоцентров с мощным осадочным выполнением, которые могут быть реликтами обширного палеогенового бассейна, существовавшего на месте современного хр. Гаккеля.

. Атлантический сегмент не имеет мощного осадочного покрова в своей осевой части.

3. Растянутая во времени пульсационная история формирования рифтовой зоны хр. Гаккеля определила возникновение ансамбля структур, не находящих объяснения при использовании простой модели спрединга северо-атлантического типа. Затронутые в статье аномальные характеристики строения рифтовой зоны хр. Гаккеля могут объясняться формированием рифтовых гор хребта в результате аккреции магматического вещества в третичное время, без значительного разрастания океанического дна.

ЛИТЕРАТУРА

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.

Глебовский В.Ю., Каминский В.Д., Минаков А.Н., Меркурьев С.А., Чилдерс В.А., Брозина Дж.М. История формирования Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана по результатам геосторического анализа аномального магнитного поля // Геотектоника, 2006, № 4, с. 21—42.

Гусев Е.А., Зайончек А.В., Мэннис М.В., Рекант П.В., Рудой А.С., Рыбаков К.С., Черных А.А. Прилаптевоморское окончание хребта Гаккеля // Геолого-геофизические характеристики литосферы, 2002, вып. 4, с. 40—54.

Деменицкая Р.М., Киселев Ю.Г. Особенности строения, морфологии осадочного чехла центральной части хребта Ломоносова по сейсмическим исследованиям // Геофизические методы разведки в Арктике. Л., НИИГА. 1968, вып. 5, с. 33—46.

Карасик А.М. Магнитные аномалии хребта Гаккеля и происхождение Евразийского суббассейна Северного Ледовитого океана // Геофизические методы разведки в Арктике. Л., НИИГА. 1968, вып. 5, с. 8—19.

Карасик А.М., Савостин Л.А., Зоненшайн Л.П. Параметры движения литосферных плит в Евразийском бассейне Северного Ледовитого океана // Докл. АН СССР, 1983, т. 273, № 5, с. 1191—1196.

Киселев Ю.Г. Глубинная геология Арктического бассейна. М., Недра, 1986, 224 с.

Нарышкин Г.Д. Срединный хребет Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана. М., Наука, 1987, 72 с.

Рекант П.В., Петров О.В., Кашубин С.Н., Рыбалка А.В., Винокуров И.Ю., Гусев Е.А. История формирования осадочного чехла глубоководной части арктического бассейна по данным сейсмических исследований МОВ-ОГТ // Региональная геология и металлогения, 2015, № 64, с. 11—27.

Черных А.А., Крылов А.А. Седиментогенез в котловине Амундсена в свете геофизических данных и материалов бурения на хребте Ломоносова // ДАН, 2011, т. 440, № 4, с. 516—520.

Backman J., Jakobsson M., Frank M., Sangiorgi F., Brinkhuis H., Stickley C., O'Regan M., Løvlie R., Pälike H., Spofforth D., Gattaceca J., Moran K., King J., Heil Ch. Age model and core-seismic integration for the Cenozoic Arctic Coring Expedition sediments from the Lomonosov Ridge // *Paleoceanography*, 2008, v. 23, № 1, PA1S03.

Gaina C., Werner S., Saltus R., Maus S. Circum-Arctic mapping project: new magnetic and gravity anomaly maps of the Arctic // *Geol. Soc. London Memoirs*, 2011, v. 35, Iss. 1, p. 39—48.

Glumov I. Expedition «Arctic-2011» for determination limit of the continental shelf in the Russian Arctic Outside 200 Mile based on 1% sediment thickness criterion // Arctic Technology Conference, Houston, 2012.

Jakobsson M., Mayer L.A., Coakley B., Mayer L., Coakley B., Dowdeswell J.A., Forbes S., Fridman B., Hodnesdal H., Noormets R., Pedersen R., Rebesco M., Schenke H.W., Zarayskaya Yu., Accettella D., Armstrong A., Anderson R.M., Bienhoff P., Camerlenghi A., Church I., Edwards M., Gardner J.V., Hall J.K., Hell B., Hestvik O., Kristoffersen Y., Marcussen Ch., Rezwani M., Mosher D., Nghiem S.V., Pedrosa M.T., Travaglini P.G., Weatherall P. The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0 // *Geophys. Res. Lett.*, 2012, v. 39, L12609.

Jokat W., Micksch U. Sedimentary structure of the Nansen and Amundsen basins // *Geophys. Res. Lett.*, 2004, v. 31, L07602.

McNeil D.H., Dud-Rodkin A., Dixon J., Dietrich J.R., White J.M., Miller K.G., Issler D.R. Sequence stratigraphy, biotic change, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ record, paleoclimatic history, and sedimentation rate change across a regional late Cenozoic unconformity in Arctic Canada // *Can. J. Earth Sci.*, 2001, v. 38, Iss. 2, p. 309—331, doi:10.1139/cjes-38-2-309.

Michael P.J., Langmuir C.H., Dick H.J.B., Snow J.E., Goldstein S.L., Graham D.W., Lehnert K., Kurras G., Jokat W., Muhe R., Edmonds H.N. Magmatic and amagmatic seafloor generation at the ultraslow-spreading Gakkel ridge, Arctic Ocean // *Nature*, 2003, v. 423, p. 956—961, doi:10.1038/nature01704.

Sekretov S.B. Structure and tectonic evolution of the Southern Eurasia Basin, Arctic Ocean // *Tectonophysics*, 2002, v. 351, p. 193—243.

Svindland K.T., Vorren T.O. Late Cenozoic sedimentary environments in the Amundsen Basin, Arctic Ocean // *Marine Geol.*, 2002, v. 186, p. 541—555.

Sweeney J.F., Weber J.R., Blasco S.M. Continental ridge in the Arctic ridges, LOREX constraints // *Tectonophysics*, 1982, № 89, p. 217—238.

Vogt P.R., Taylor P.T., Kovacs L.C., Johnson G.L. Detailed aeromagnetic investigations of the Arctic Basin // *J. Geophys. Res.*, 1979, v. 84, p. 1071—1089.

Weigelt E., Jokat W., Franke D. Seismostratigraphy of the Siberian Sector of the Arctic Ocean and adjacent Laptev Sea Shelf // *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 2014, v. 119, p. 5275—5289, doi:10.1002/2013JB010727.

*Рекомендована к печати 28 августа 2015 г.
В.А. Конторовичем*

*Поступила в редакцию
3 августа 2015 г.*