

УДК 551.465

# КИНЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ РАЙОНОВ ВОСТОКА СРЕДИННО-ОКЕАНИЧЕСКОГО ХРЕБТА ГАККЕЛЯ В ЕВРАЗИЙСКОМ БАССЕЙНЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

© 2019 г. Ал. А. Шрейдер<sup>1</sup>, А. А. Шрейдер<sup>2</sup>,  
А. Э. Сажнева<sup>2</sup>, М. С. Клюев<sup>2</sup>, А. Л. Бреховских<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Общество с ограниченной ответственностью  
«Научно-исследовательский институт экономики  
и организации управления в газовой промышленности», Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия  
e-mail: aschr@ocean.ru*

Поступила в редакцию 04.10.2016 г.

После доработки 15.02.2017 г.

Составлена новая карта осей линейных магнитных аномалий для восточных районов Евразийского бассейна. По результатам отечественных геомагнитных съемок здесь впервые выделена палеоаномалия С25, а переход от рифтинга к спредингу датируется возрастом хронов С25г–С26п (57.656–59.237 млн. лет назад). Проведено восстановление оси зоны откола периферических континентальных фрагментов хребта Ломоносова от сибирского шельфа. Впервые определены эйлеровы полюса и углы поворота, описывающие кинематику откола. Впервые выявлена разность глубин стыкуемых изобат в сотни метров, что отражает результат процесса оползания по плоскости сквозькорового разлома периферических районов континентальной коры.

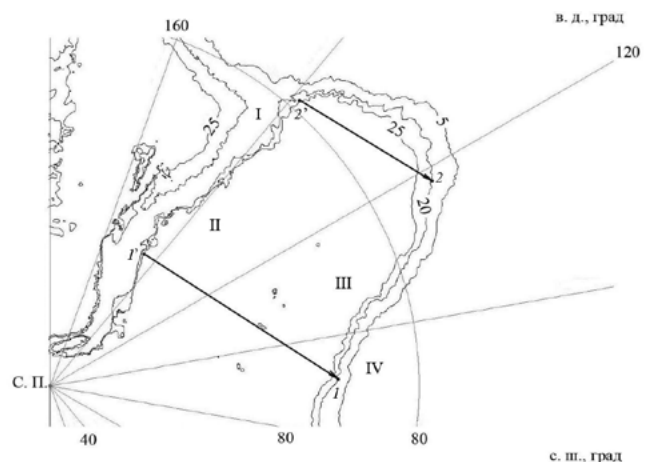
**Ключевые слова:** Арктический океан, хребет Гаккеля, эйлеровы полюса, кинематическая модель

DOI: <https://doi.org/10.31857/S 0030-157459143-152>

## ВВЕДЕНИЕ

Важным направлением исследования Арктики является изучение палеогеодинамики Северного Ледовитого, или Арктического [23 и др.] океана. Тектоническое развитие Арктического океана до настоящего времени широко обсуждается в литературе [3, 8, 12–15, 18, 20–22, 26 и др.].

Значительная роль отводится изучению Евразийского бассейна, где находится единственный в Арктическом океане современный действующий Срединно-Арктический хребет. В состав восточных районов Евразийского бассейна и его лаптевоморского замыкания входят ряд котловин и поднятий (рис. 1). Котловина Нансена расположена между осью спрединга Срединно-Арктического хребта и Евразийским шельфом. Котловина Амундсена (она же Фрам–Fram [57], она же Приполюсная абиссальная равнина – Pole abyssal plane [51]), расположена между хребтом Ломоносова и осью Срединно-Арктического хребта.



**Рис. 1.** Батиметрия дна лаптевоморской части Евразийского бассейна по данным [76]. Изобаты — в сотнях метров. I — хребет Ломоносова, II — котловина Амундсена, III — котловина Нансена, IV — евразийская континентальная окраина. Показано положение концевых точек конжугейтных изобат 1–2 на евразийской окраине и 1'–2' на хребте Ломоносова. Прямыми линиями обозначены состыкованные точки в областях: евразийской окраины (изобата 2 км) и хребта Ломоносова (изобата 2.5 км). С. П. — Северный полюс.

Море Лаптевых (до 1935 года носило имя Норденшельда) географически расположено между северным побережьем Сибири на юге, полуостровом Таймыр, островами Северная Земля на западе и Новосибирскими островами на востоке. Международная гидрографическая организация [62] определяет северную границу моря Лаптевых вдоль линии, соединяющей северные оконечности острова Комсомолец и острова Котельный. В то же время, согласно данным ИВСаО [50], северная граница моря (между островами Комсомолец и Котельный) проходит через точку пересечения меридиана северной оконечности острова Котельный с краем материковой отмели (мыс Анисий) ( $79^\circ$  с.ш.  $139^\circ$  в.д.). В том и другом случаях запад моря Лаптевых включает в себя часть котловин Амундсена и Нансена, а также лаптевоморское замыкание разделяющего их Срединно-Арктического хребта.

Геолого-геофизическое изучение лаптевоморского сегмента Срединно-Арктического хребта играет важную роль при восстановлении геодинамического развития дна востока Евразийского бассейна. В этой связи исследования международного научного сообщества в последние полвека позволили получить информацию о морфологии рельефа дна, осадочном чехле, структуре коры и аномальных потенциальных полях моря Лаптевых и смежных с ним районов. Вместе с тем необходимо отметить, что ледовое покрытие акватории Арктического океана, в том числе и лаптевоморской его области, затрудняет сбор сведений о геологическом строении дна. Нет полной уверенности в том, что поднятые на борт исследовательских судов геологические образцы не являются продуктами ледового разноса. Ледовые условия крайне ограничивают возможности получения данных и в процессе глубоководного бурения. В этих условиях комплексный анализ имеющихся геолого-геофизических данных позволяет ответить на ряд важных вопросов об этапах развития восточного сегмента Срединно-Арктического хребта, чему и посвящена настоящая работа.

### ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Комплексное геолого-геофизическое изучение районов срединно-океанического хребта Гаккеля позволило получить важные сведения о его структуре коры и палеогеодинамике. Аномальное гравитационное поле в редукции Фая [64] характеризуется наличием положи-

тельных аномалий с абсолютной величиной до 50–150 мгл, связанных с возвышенностями на дне акватории. Отрицательные аномалии с абсолютной величиной до -80 мгл связаны с известными в литературе донными котловинами.

Аномальное гравитационное поле в редукции Буге вычислялось с использованием базы данных по рельефу дна ИВСаО и значений силы тяжести в редукции Фая при плотности промежуточного слоя  $2.85 \text{ г/см}^3$  [64]. Его распределение характеризуется наличием положительных аномалий с абсолютной величиной до 240 мгл, связанных с донными котловинами. Отрицательные аномалии с абсолютной величиной до -70 мгл связаны с островами и континентальными шельфами.

Конвертирование скоростей сейсмических волн в плотностные характеристики позволяет выяснить [52], что осадочные породы со скоростями продольных сейсмических волн 1.9–2.2 км/с имеют плотность  $1.92\text{--}2 \text{ г/см}^3$ . Породы со скоростями 3.1–3.2 км/с будут иметь плотность  $2.25 \text{ г/см}^3$ , при 4.3–5.2 км/с —  $2.62 \text{ г/см}^3$ , при 5.43–5.84 км/с —  $2.65 \text{ г/см}^3$ , при 6.24–6.58 км/с —  $2.73\text{--}2.75 \text{ г/см}^3$ . Плотности материала верхней мантии в расчетах принимаются равными  $3.3 \text{ г/см}^3$ .

Учет указанной плотностной характеристики литосферы при комплексной интерпретации гравитационного поля в редукции Буге [42, 52, 54, 64] позволил составить ряд разрезов коры. Согласно им [66, 77 и др.], в центральной части котловины Амундсена на глубинах 4.1–4.2 км для литосферы с возрастом 43–50 млн. лет значения теплового потока заключены в интервале 73–127 мвт/м<sup>2</sup>, составляя в среднем  $102 \pm 12 \text{ мвт/м}^2$  по 8 значениям. Полученные данные измерений свидетельствуют о повышенном тепловом потоке в сравнении с его средними океаническими значениями, близкими к 50 мвт/м<sup>2</sup>. Последнее обстоятельство может отражать удаленность исследуемых районов котловины Амундсена, отстоящих на 100–200 км от современной активной оси спрединга Срединно-Арктического хребта. Тектоническая активность дна лаптевоморского замыкания Срединно-Арктического хребта проявляется в сейсмичности осевой зоны срединного хребта, где отмечаются мелкофокусные землетрясения со средней магнитудой 4–5 с глубиной очагов, не превышающей 35 км (данные [1, 49]).

По сейсмическим данным структура Срединно-Арктического хребта прослеживается на восток между 128° и 131° в.д. до 77.5° с.ш., где она резко прерывается Хатангским разломом [69]. Под Срединно-Арктическим хребтом, по гравитационным расчетам, мощность коры примерно на 1.5 км меньше, чем наблюдаемая под другими срединно-океаническими хребтами. Получены также свидетельства недавней вулканической активности в его пределах [38 и др.].

### СТРУКТУРА КОРЫ

Послойное представление осадков вдоль профилей сейсмоакустических наблюдений пока не имеет единообразной номенклатуры. Вместе с тем имеющиеся материалы позволяют нам составить новую карту общей мощности осадочного слоя (рис. 1), основанную на интеграции всех доступных картографических (включая профильные) результатов исследований осадочного покрова Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана [4, 11, 13, 16, 17, 24, 31, 39, 45, 52, 58, 59, 65, 68, 77 и др.]. Согласно этой новой карте, толщина осадков в области подножья хребта Гаккеля составляет около 1 километра и менее, а в котловине Амундсена при приближении к хребту Ломоносова не превышает 2 км. Простирание изопакит в основном наследует геоморфологическую конфигурацию котловины. Важно отметить, что в котловине Нансена при приближении к шельфу мощность осадков также возрастает до 3 км и более.

Подоснова осадочного слоя лаптевоморской области Евразийского бассейна характеризуется нерегулярным рельефом с относительной амплитудой отдельных форм на многие сотни метров. Сейсмические исследования методом отраженных волн и широкоугольное сейсмическое профилирование свидетельствуют, что подстилающий осадки акустический фундамент характеризуется наличием многочисленных разломов, по которым происходило движение одних его блоков относительно других (например, [45, 52 и др.]). Фундамент характеризуется высокой степенью расчлененности [24 и др.], сложной внутренней структурой [77 и др.], наличием отражающих горизонтов, в основном, в интервале глубин 4-9 со времени двойного пробега сейсмического сигнала.

Скорости продольных сейсмических волн в поверхностных частях фундамента близки

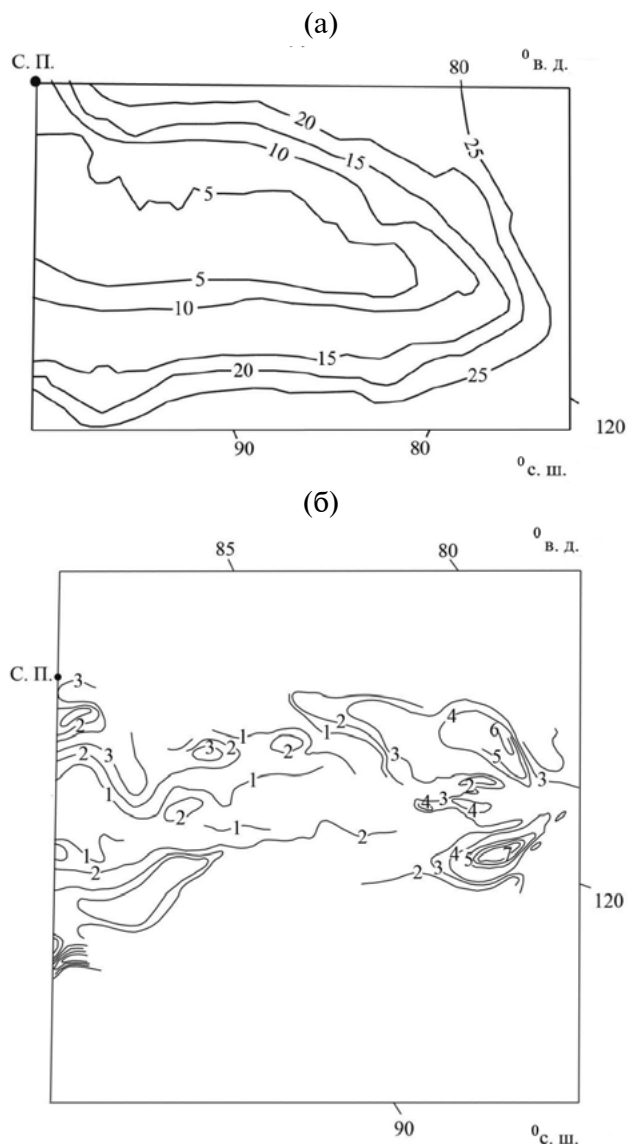


Рис. 2. Компильционные схемы мощности земной коры (а) и осадочного слоя (б) по данным [10, 16, 17, 31, 45, 52, 53, 77 и др.]. Изопакиты — в км. С. П. — Северный полюс.

5.2 км/с. В областях развития континентальной коры отражающие горизонты, относящиеся к гранитному слою, имеют сейсмические скорости, близкие к 6.2 км/с. В областях развития коры океанического типа скорости на сравнимых глубинах в коре близки к 7 км/с и соответствуют базальтовому слою.

Анализ новой карты-схемы свидетельствует, что океаническая кора с мощностью 5-10 км подстилает морфоструктуры Срединно-Арктического хребта в области с возрастом литосферы не более 30 млн. лет. В то же время кора с мощностью около 20 км относится к области перехода от океанической коры к континентальной и сменяется континентальной корой мощностью 25 и более километров.

Аэромагнитные наблюдения [9, 32, 34, 55, 56, 60, 61, 63, 67, 70-73 и др.] позволили получить сведения о распределении магнитных аномалий в лаптевоморской области Евразийского бассейна. Согласно им, Срединно-Арктический хребет, включая осевую зону спрединга, характеризуется линейными магнитными аномалиями малой амплитуды (менее 500 нТл) с длиной волны до 30 км. Осевая магнитная аномалия достигает 2000 нТл лишь на западе хребта и становится существенно малоамплитудной практически во всех остальных районах [40]. Сравнение наблюдаемых и теоретических магнитных аномалий в модели разрастания дна ([26, 72, 73] и др.) позволило идентифицировать палеомагнитные аномалии С1–С25 (рис.3). Все авторы свидетельствуют, что горизонтальные смещения относительно друг друга палеомагнитных аномалий и структур дна не превышают 10-30 км. Рисовка трансформных разломов в разных работах не совпадает по положению и простиранию. При этом направление разломов составляет 70° [9], 45° [69], 30° [37] или даже 120° [2].

Наиболее современная версия хронологии дна лаптевоморского сегмента Евразийского бассейна, охватывающая Срединно-Арктический хребет и смежные с ним котловины Амундсена и Нансена, представлена на рис. 4.

Важнейшим ее отличием от предыдущих схем является выделение в настоящем исследовании палеоаномалии С25 на востоке котловины Амундсена по материалам работы [19]. Она установлена на основе корреляции наблюдаемых и теоретических магнитных аномалий в модели разрастания дна в сторону от оси спрединга. В расчетах теоретических магнитных аномалий и при идентификации палеомагнитных аномалий по результатам моделирования ([26] и др.) использовалась наиболее современная версия шкалы палеомагнитных аномалий [43], развивающая работу [25].

Сравнение пространственного положения аномалии С25 с положением границы между континентальной и океанической корой из работы [5] (с учетом данных исследований [2, 37, 69] и др.) свидетельствует, что граница располагается на периферии хрона С25г (57.656-58.959 млн. лет). Поскольку граница маркирует переход от континентальной коры к коре, рожденной в процессе спрединга, то начало формирования океанической коры в лаптевоморском сегменте может

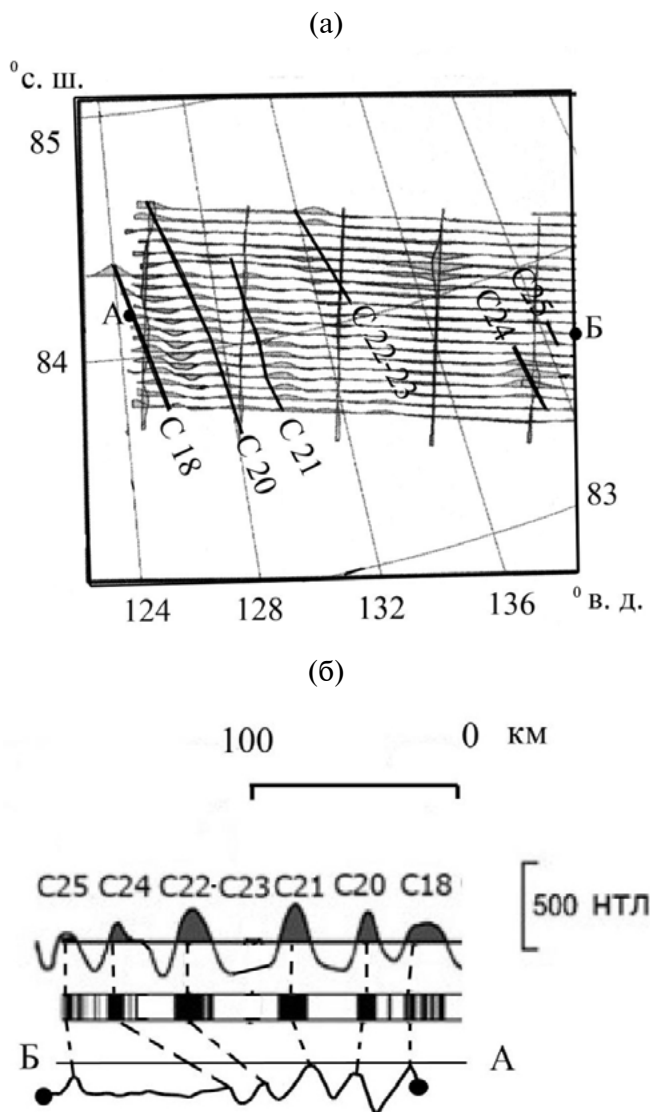
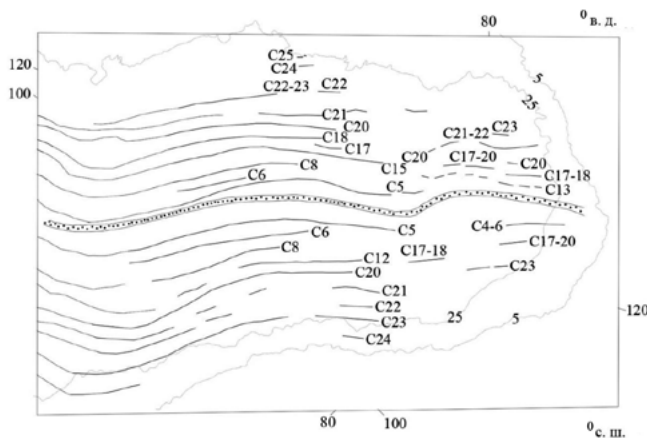


Рис. 3. (а) – Графики аномального магнитного поля вдоль профилей аэромагнитной съемки у подножья хребта Ломоносова по [19]. Жирными линиями представлены восстановленные в настоящей работе хроны С18 – С25. (б) – Теоретические палеоаномалии в модели инверсионного магнитоактивного слоя и пример идентификации палеоаномалий вдоль профиля А – Б с использованием геохронологической шкалы [43].

быть датировано возрастом около 59 млн лет. Сама граница пространственно близка к положению изобат 2.0-2.5 км от приполюсного района до 79° с.ш.

Спрединг дна происходит в направлении ортогональном простиранию осевой зоны хребта. Кинематические расчеты свидетельствуют, что в интервале палеоаномалий С25-С13 разрастание дна шло со скоростями около 0.9-1.2 см/год. При этом наращивание новой океанической коры в котловине Амундсена шло интен-



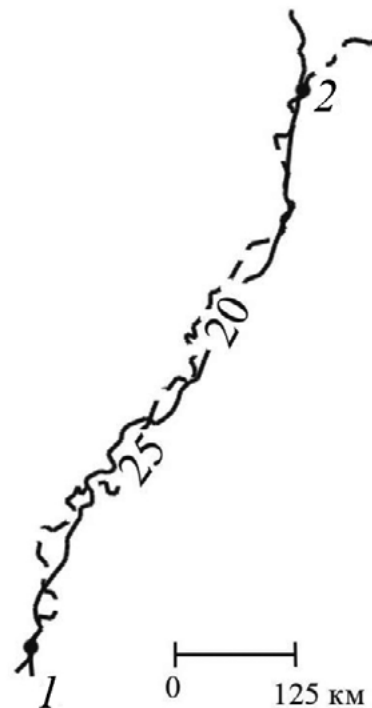
**Рис. 4.** Линейные магнитные аномалии С1 (крап) – С25 (отрезки кривых) в восточной части Евразийского бассейна по данным [9, 26, 32, 34, 55, 56, 71, 72, 73 и др.] и рис. 3. Изобаты в сотнях метров по [76].

сивнее, чем в котловине Нансена. В интервале палеоаномалий моложе С13 скорости не превышают 0.6 см/год при общем уменьшении темпов разрастания дна в восточном направлении. Эти обстоятельства резко затрудняют проведение уверенной идентификации конкретных палеомагнитных аномалий и обуславливают необходимость выделения цугов аномалий (например, С4-5; С17-19 и т.д.).

#### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ОТКОЛА

В настоящей работе методика Булларда [33] впервые применяется для случая совмещения склонов в области лаптевоморского замыкания Срединно-Арктического хребта Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана. Многочисленные опробования стыкуемости изобат показали, что наиболее подходящими для целей палеогеодинамического анализа оказались участки изобат в интервале 0.9–1.2 км. Склон в этом интервале глубин является наиболее крутым (средний угол наклона поверхности склона превышает  $5^\circ$ ) и, по сведениям [6] о характере соскальзывания осадочной толщи, с наименьшей мощностью осадков (или даже полностью лишенный их).

Расчеты эйлеровых полюсов и углов поворота проводились по оригинальным программам Лаборатории геофизики и тектоники дна Мирового океана ИО РАН, инкорпорированным в программную среду Global Mapper [27, 28], принципы расчета по которым изложены в работах [7, 8, 28].



**Рис. 5.** Стыковка конжугейтных изобат Евразийской континентальной окраины (изобата 2 км – сплошная линия) и хребта Ломоносова (изобата 2.5 км – пунктир). Номера точек 1 и 2 те же, что и на рис. 1.

В анализируемом районе глубина дна достигает 3 км (область между конжугейтными точками 1, 2 и 1', 2' на рис. 1). Если формирование впадины, в соответствии со схемой Вернике [75], связано с оползанием блоков континентальной коры хребта Ломоносова на периферии Евразийского континентального склона, то многочисленные опробования стыкуемости различных участков разных и одноименных изобат показали, что наиболее подходящими для целей палеогеодинамического анализа оказались участки изобат в интервале 1.8–2.7 км.

Согласно оценочным расчетам, при положении эйлерова полюса конечного вращения в точке с координатами  $69.18^\circ$  с.ш.  $138.53^\circ$  в.д. удастся севернее  $80^\circ$  на протяжении более 600 км получить весьма хорошее совмещение изобаты 2.0 км в нижней части Евразийского склона (участок между точками 1–2 на рис. 1) и изобаты 2.5 км на хребте Ломоносова (участок между точками 1'–2') (рис.5). Угол поворота составил  $16.9^\circ \pm 0.3^\circ$ . При этом среднеквадратическое отклонение в расчетных точках совмещения составило  $\pm 21$  км (9 точек совмещения). Полюс пространственно тяготеет

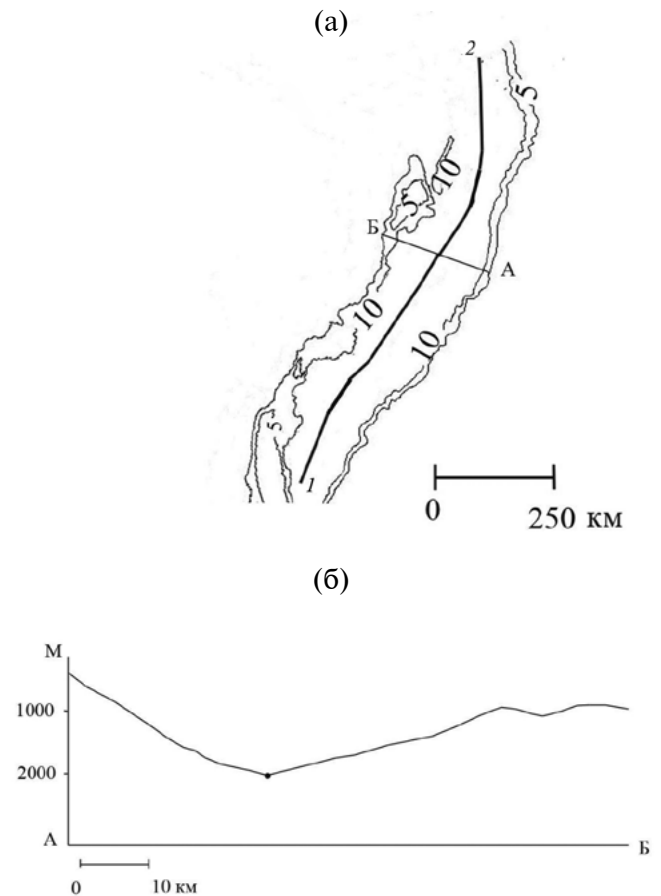
к области существования ранее известных кайнозойских конечных полюсов раскрытия Евразийского бассейна, компиляция которых приводится в работе [5]. Палеогеодинамические расчеты эйлера полюса и угла поворота позволили впервые оценить палеогеодинамические параметры раскрытия лаптевоморского сегмента Евразийского бассейна.

Таким образом, в результате проведенных расчетов создана уточненная кинематическая модель развития восточных районов Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана, проведено восстановление оси зоны откола периферических континентальных фрагментов хребта Ломоносова (жирная линия на рис. 6а) от сибирского континентального шельфа. Важным обстоятельством реконструкции является выявление разности глубин стыкуемых изобат в пять сотен метров. На основании проведенной реконструкции путем введения поправок на оползание вышерассмотренных фрагментов удастся провести восстановление первичной палеобатиметрии дна перед отколом этих оползающих фрагментов (рис. 6). Из этих рисунков видно, что для случая исследуемой акватории первоначально стыкуемые участки хребта Ломоносова и поверхность Евразийского шельфа были близки по высоте.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенных исследований восстановлены основные палеогеодинамические события и создана уточненная кинематическая модель развития восточных районов Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана и его лаптево-морского замыкания.

До начала растяжения Евразийский шельф и хребет Ломоносова были частью континентальной евразийской арктической окраины. Растяжение на шельфе со временем перешло в рифтинг, трансформировавшийся во время хронов С25г-С26п (57.656-59.237 млн лет назад) в спрединг. Ось спрединга проградировала в восточном направлении в шельфовую зону и привела к отторжению хребта Ломоносова по схеме «ножниц». При этом его восточная часть не теряла структурно-тектонической общности с Евразийским шельфом. На основании комплексного геолого-геофизического анализа аномального магнитного поля континентальный рифтинг около 59 млн. лет назад привел к отрыву от Евразийской континентальной



**Рис. 6.** Палеогеодинамическая реконструкция и восстановленная палеобатиметрия восточных районов Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана. Показано положение оси откола (жирная кривая линия). (б) – Профиль палеобатиметрии дна вдоль линии А-Б перед отколом фрагмента хребта Ломоносова от евразийской континентальной окраины и точка стыковки палеоизобат. Номера точек 1 и 2 те же, что и на рис. 1.

окраины ее фрагмента – хребта Ломоносова. Проведенные расчеты позволили провести восстановление конфигурации оси зоны откола хребта Ломоносова. Определены эйлеровы полюса и углы поворота, описывающие кинематику откола.

Откол ознаменовал раскрытие лаптевоморского сегмента Евразийского бассейна, сопровождавшегося формированием линейных магнитных аномалий на оси спрединга Срединно-Арктического хребта, начиная со времени хрона С25о. Ось спрединга во времени проградировала в восточном направлении, расширяя пространство океанической коры в сторону сибирского шельфа. Скорости спрединга в интервале палеоаномалий С25-С18 составляли около 1.2 см/год, а со времени хрона С13 уменьшились до 0.6 см/год.

Во взаимосвязи с этими событиями произошло образование на шельфе моря Лаптевых сложной рифтовой системы, которая, скорее всего, имеет связь со Срединно-Арктическим хребтом, но последний отделен от нее Хатангским разломом [26, 37, 69 и др.]. Развитие этих шельфовых структур продолжается в настоящее время, о чем свидетельствует их современная сейсмическая активность. Южным пределом осей спрединга в море Лаптевых является параллель 77.5° с.ш. Весьма важной задачей последующих исследований представляется обоснование и надежный поиск континентальной рифтовой структуры, генетически связанной с континентальным продолжением Срединно-Арктического хребта.

**Источник финансирования.** Настоящая работа выполнена в рамках Государственного задания № 0149-2019-0005. При этом методические вопросы совмещения конжугейтных изобат на встречных склонах прорабатывались в рамках проекта РФФИ № 17-05-00075.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аветисов Г.П.* Сейсмологические исследования НИИГА-ВНИИОкеангеология в Арктике (история, достижения, перспективы) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 2. С. 27-41.
2. *Андиева Е.С.* Тектоническая позиция и основные структуры моря Лаптевых // Нефтяная геология. Теория и практика. 2008. № 3. С. 1-28.
3. *Богданов Н.А.* Тектоника Арктического океана // Геотектоника. 2004. № 3. С. 13-30.
4. *Верба В. В., Ким Б. И., Харитонов Л. Я.* Новые данные о строении и мощности осадочного чехла евразийского бассейна // Докл. РАН. 2001. Т. 381. № 1. С. 88-93.
5. *Глебовский В.Е., Каминский В.Д., Минаков А.Н. и др.* История формирования Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана по результатам геосторического анализа аномального магнитного поля // Геотектоника. 2006. № 4. С. 21-42.
6. *Жмур В.В., Сапов Д.А., Нечаев И.Д. и др.* Интенсивные гравитационные течения в придонном слое океана // Изв. РАН. Сер. физическая. 2002. Т. 66. № 12. С. 1721-1726.
7. *Зоненшайн Д.Д., Ломизе М.Г., Рябухин А.Г.* Посobie к практическим занятиям по геотектонике. М.: Изд – во МГУ, 1990. 95 с.
8. *Зоненшайн Л.П., Натанов Л.М.* Тектоническая история Арктики // Актуальные проблемы геотектоники. М.: Наука, 1987. С. 31-57.
9. *Карасик А.М.* Некоторые особенности геосторического анализа аномального магнитного поля в условиях медленного разрастания океанического дна (на примере евразийского бассейна Северного Ледовитого океана) // Магнитные аномалии океанов и новая глобальная тектоника. М.: Наука, 1981. С. 162-174.
10. *Кашубин С.Н., Петров О.В., Андросов Е.А. и др.* Карта мощности земной коры циркумполярной Арктики // Региональная геология и металлогения. 2011. № 46. С. 5-13.
11. *Ким Б.И., Глезер З.И.* Осадочный чехол хребта Ломоносова (стратиграфия, история формирования чехла и структуры, возрастные датировки сейсмокомплексов) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2007. Т. 15. № 4. С. 61-83.
12. *Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Богатиков О.А.* Новейший вулканизм и его связь с процессами межплитного литосферного взаимодействия и глубинной геодинамикой // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. С. 1204-1221.
13. *Кулаков И.Ю., Гайна К., Добрецов Н.Л. и др.* Реконструкции перемещений плит в арктическом регионе на основе комплексного анализа гравитационных, магнитных и сейсмических аномалий // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1108-1125.
14. *Лаверов Н.П., Лобковский Л.И., Кононов М.В. и др.* Геодинамическая модель развития арктического бассейна и примыкающих территорий для мезозоя и кайнозоя и внешняя граница континентального шельфа России // Геотектоника. 2013. № 1. С. 3-35.
15. *Лобковский Л.И., Вержбицкий В.Е., Кононов М.В., Шрейдер А.А.* Геодинамическая модель эволюции арктического региона в позднем мезозое – кайнозое и проблема внешней границы континентального шельфа России // Арктика. Экология и экономика. 2011. № 1. С. 104-115.
16. *Поселов В.А., Аветисов Г.П., Буценко В.В. и др.* Хребет Ломоносова как естественное продолжение материковой окраины Евразии в Арктический бассейн // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. С. 1662-1680.
17. *Поселов В.А., Жолондз С.М., Трухалев А.И. и др.* Карта мощности осадочного чехла Северного Ледовитого океана // Тр. ВНИИОкеангеология. 2012. Т. 223. Вып. 8. С. 8-14.
18. *Рекант П.В., Петров О.В., Кашубин С.Н. и др.* История формирования осадочного чехла глубоководной части арктического бассейна по данным сейсмических исследований МОВ – ОГТ // Региональная геология и металлогения. 2015. № 64. С. 11-27.

19. Российские арктические геотраверсы // Труды ВНИИ Океангеология. 2011. Т.220. 172 с.
20. Соколов С.Ю. Тектонические элементы Арктики по данным мелкомасштабных геофизических полей // Геотектоника. 2009. № 1. С. 23-38.
21. Филатова Н.И., Хаин В.Е. Тектоника Восточной Арктики // Геотектоника. 2007. № 3. С. 3-29.
22. Филатова Н.И., Хаин В.Е. Кратон Арктида и неопротерозойские-мезозойские орогенные пояса циркумполярного региона // Геотектоника. 2010. № 3. С. 3-29.
23. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов. М.: Научный мир, 2001. 606 с.
24. Черных А.А., Крылов А.А. История седиментогенеза в котловине Амундсена в свете геофизических данных и материалов бурения АСЕХ (IODP-302) // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. 2010. Вып. 7. С. 56-66.
25. Шрейдер А.А. Магнетизм океанической коры и линейные палеомагнитные аномалии // Физика Земли. 1992. № 6. С. 59-70.
26. Шрейдер А.А. Линейные магнитные аномалии Северного Ледовитого океана // Океанология. 2004. Т. 44. № 5. С. 768-777.
27. Шрейдер Ал.А. Раскрытие глубоководной котловины Черного моря // Океанология. 2005. Т. 45. № 4. С. 592-604.
28. Шрейдер Ал.А. Формирование глубоководной котловины Черного моря. М.: Научный мир, 2011. 216 с.
29. Шрейдер Ал.А. Модель откола Марвин спура от хребта Ломоносова в Северном Ледовитом океане // Океанология. 2014. Т. 54. № 4. С. 530-537.
30. Шрейдер Ал.А., Лобковский Л.И., Шрейдер А.А. Кинематическая модель раскрытия Канадской котловины Северного Ледовитого океана // Океанология. 2013. Т. 53. № 4. С. 539-549.
31. Alvey A., Gaina C., Kuszner N., Torsvik T. Integrated crustal thickness mapping and plate reconstructions for the high Arctic // Earth Planet. Sci. Lett. 2008. V. 274. P. 310-321.
32. Brozina J., Childers V., Lawver L. et al. New aerogeophysical study of the Eurasian Basin and Lomonosov Ridge implications for basin development // Geology. 2003. V. 31. P. 825-828.
33. Bullard E., Everett J., Smith A. The fit of continents around Atlantic. Symposium on continental drift // Phil. Trans. Roy. Soc. London, 1965. V. 258A. P. 41 – 51.
34. Coles R., Taylor P. Magnetic anomalies // Geology of North America. V.1. Geol. Soc. Am., Boulder. Colorado. 1990. P. 119-132.
35. Dore A., Lundin E., Kuszner N., Pascal C. Potential mechanisms for the genesis of cenozoic domal structures on the NE Atlantic margins // Geol. Soc. London Spec. Publ. 2008. V. 306. P. 1-26.
36. Dossing A., Hansena T., Olesen A. Gravity inversion predicts the nature of the Amundsen basin and its continental borderlands near Greenland // Earth Planet. Sci. Lett. 2014 V. 408. P. 132-145.
37. Drachev S., Kaul N., Biliaev V. Eurasia spreading basin to Laptev shelf transition: structural pattern and heat flow // Geoph. J. Int. 2003. V. 152. P. 688-698.
38. Edwards M., Kurras G., Tolstoy M. et al. Evidence of recent volcanic activity on the ultraslow spreading Gakkel ridge // Nature. 2001. V. 409. P. 808-811.
39. Engen O., Gjengedal J., Faleide J. et al. Seismic stratigraphy and sediment thickness of the Nansen Basin, Arctic Ocean // Geoph. J. Int. 2009. V. 176. P. 805-821.
40. Feden R., Vogt P., Fleming H. Magnetic and bathymetric evidence for the «Yermak hot spot» northwest of Svalbard in the Arctic basin // Earth and Planet. Sci. Lett. 1979. V. 44. P. 18-38.
41. Gaina C., Medvedev S., Torsvik T. et al. 4D Arctic: a glimpse into the structure and evolution of the Arctic in the light of new geophysical maps, plate tectonics and tomographic models. Oslo surv. geoph. open access. 2013. 28 p.
42. Geissler W., Jokat W. A geophysical study of the northern Svalbard continental margin // Geophys. J. Int. 2004. V. 158. P. 50-66.
43. Gradstein F., Ogg J., Schmitz M., Ogg G. The Geologic Timescale 2012. Elsevier, 2012. 1139 p.
44. Grantz A., Clark D., Phillips R., Srivastava S. Phanerozoic stratigraphy of Northwind ridge, magnetic anomalies in the Canada basin, and the geometry and timing of rifting in the Amerasia basin, Arctic ocean // Geol. Soc. Am. Bull. 1998. V. 110. № 6. P. 801-820.
45. Grantz A., Hart P., Childers V. Geology and tectonic development of the Amerasia and Canada Basins, Arctic Ocean // Geol. Soc. Lond. Arctic Petrol. Geol. 2011. P. 771-799.
46. Grantz A., May S., Taylor P., Lawver L. Canada basin // Geology of North America. V. 1. Geol. Soc. Am. Boulder, Colorado. 1990. P. 379-402.
47. Hall J. Chukchi borderland // Geology of North America. V. 1. Geol. Soc. Am. Boulder, Colorado. 1990. P. 337-349.
48. Harbert W., Frei L., Engebretson D. Paleomagnetic and plate –tectonic constraints on the evolution of the Alaskan-eastern Siberian arctic // Geology of North America. V. 1. Geol. Soc. Am. Boulder, Colorado. 1990. P. 567-592.
49. <http://earthquake.usgs.gov>, 2017
50. Jakobsson M., Mayer L., Coakley B. et al.



- The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0 // Geoph. Res. Lett. 2012.
51. Jackson H., Johnson G. Summary of Arctic geophysics // J. Geodynamics. 1986. V. 6. P. 245-262.
  52. Jackson R., Dahl-Jensen T. and the LORITA working group. Sedimentary and crustal structure from the Ellesmere Island and Greenland continental shelves onto the Lomonosov Ridge, Arctic Ocean // Geoph. J. Int. 2010. V. 182. P. 11-35.
  53. Kashubin I. S., Petrov O., Androsov E. et al. Crustal thickness in the Circum Arctic // VSEGEI ICAM VI Proceedings 2014. P. 1-17.
  54. Knies J., Matthiessen J., Vogt C. et al. The Plio-Pleistocene glaciation of the Barents Sea-Svalbard region: a new model based on revised chronostratigraphy // Quatern. Sci. Rev. 2009. V. 28. P. 812-829.
  55. Kristoffersen Y. The Nansen ridge, Arctic ocean: some geophysical observations of the rift valley at slow spreading rate // Tectonophysics. 1982. V. 89. P. 161-172.
  56. Kristofferson Y. Eurasia Basin // Geology of North America. V. 1. Geol. Soc. Am. Boulder, Colorado. 1990. P. 365-378.
  57. Kristoffersen Y., Husebye E. Multi-channel seismic reflection measurements in the Eurasian Basin, Arctic Ocean, from U.S. ice station FRAM-IV // Tectonophysics. 1985. V. 114. P. 103-115.
  58. Kristoffersen Y., Mikkelsen N. On sediment deposition and nature of the plate boundary at the junction between the submarine Lomonosov Ridge, Arctic Ocean and the continental margin of Arctic Canada/North Greenland // Mar. Geol. 2006. V. 225. P. 265-278.
  59. Langinen A., Lebedeva-Ivanova N., Gee D., Zamansky Y. Correlations between the Lomonosov Ridge, Marvin Spur and adjacent basins of the Arctic Ocean based on seismic data // Tectonophysics. 2009. V. 472. P. 309-322.
  60. Lawver L., Scotese C. A review of tectonic models for the evolution of the Canada basin. Geology of North America. V. 1. Geol. Soc. Am. Boulder, Colorado, 1990. P. 593-618.
  61. Lebedeva-Ivanova N. Geophysical studies bearing on the origin of the Arctic ocean digital comprehensive summaries of Uppsala dissertations from the faculty of science and technology 729. Uppsala Univ. 2010. 79 p.
  62. Limits of oceans and seas. Monte Carlo. Spec. Pub. № 28. 1971. 45 p.
  63. Miller E.L., Verzhbitsky V.E. Structural studies near Pevek, Russia: Implications for formation of the East Siberian Shelf and Makarov Basin of the Arctic Ocean // Geology, geophysics and tectonics of Northeastern Russia. EGU Publication Series, 2009. V. 4. P. 223-241.
  64. Minakov A., Faleide J., Glebovsky V., Mjelde R. Structure and evolution of the northern Barents – Kara sea continental margin from integrated analysis of potential fields, bathymetry and sparse seismic data // Geophys. J. Int. 2012. V. 188. P. 79-102.
  65. Oakey G., Stephenson R. Crustal structure of the Inuitian region of Arctic Canada and Greenland from gravity modelling: implications for the Palaeogene Eureka orogen // Geophys. J. Int. 2008. V. 173. P. 1039-1063.
  66. Okay N., Crane K. Thermal rejuvenation of the Ermak plateau // Mar. Geoph. Res. 1993. V. 15. P. 243-263.
  67. Petrov O., Morozov A., Shokalsky S. et al. Crustal structure and tectonic model of the Arctic region // Earth Sci. Rev. 2016. V. 154. P. 29-71.
  68. Ritzmann O., Jokat W., Czuba W. et al. A deep seismic transect from Hovgard Ridge to northwestern Svalbard across the continental – ocean transition: A sheared margin study // Geophys. J. Int. 2004. V. 157. P. 683-702.
  69. Sekretov S. Structure and tectonic evolution of the south Eurasia basin, Arctic Ocean // Tectonophysics. 2002. V. 351. P. 193-243.
  70. Sweeney J.F., Weber J.R., Blasco S.M. Continental ridges in the Arctic Ocean: Lorex constraints // Tectonophysics. 1982. № 89. P. 217-238.
  71. Taylor P., Kovacs L., Vogt P., Johnson G. Detailed aeromagnetic investigation of the Arctic basin. 2 // J. Geophys. Res. 1981. V. 86. P. 6323-6333.
  72. Vogt P., Taylor P., Kovacs L., Johnson G. Detailed aeromagnetic investigation of the Arctic basin // J. Geophys. Res. 1979. V. 84. № 3. P. 1071-1089.
  73. Vogt P., Taylor P., Kovacs L., Johnson G. The Canada basin - aeromagnetic constraints in structure and evolution // Tectonophysics. 1982. V. 89. P. 295-336.
  74. Weber J.R., Sweeney J.R. Reinterpretation of morphology and crustal structure in the central Arctic Ocean Basin // J. Geophys. Res. 1985. V. 90. № 131. P. 663-677.
  75. Wernicke B. Low angle normal faults in the Basin and Range Province: nappe tectonics in an extending orogeny // Nature. 1981. V. 291. P. 645-648.
  76. www.topex.ucsd.edu/html/mar\_topo.html (IBCAO) 2017.
  77. Urlaub M., Schmidt-Aursch M., Jokat W., Kaul N. Gravity crustal models and heat flow measurements for the Eurasia basin, Arctic ocean // Mar. Geophys. Res. 2009. V. 30. P. 277-292.

## **Kinematic Model of the Midoceanic Gakkel Ridge East Areas Development in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean**

© 2019 Al. A. Schreider, A. A. Schreider, A. E. Sazhneva,  
M. S. Kluev, A. L. Brehovskih

<sup>1</sup> *Limited Liability Company Science Research Institute  
of Economics and Management Organization in Gas Industry, Moscow, Russia*  
<sup>2</sup> *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*  
*e-mail: aschr@ocean.ru*

Received October 4, 2016  
After revision February 15, 2017

The new map of linear magnetic anomalies axis for the mid-Arctic ridge east areas development in the Eurasian basin is made. The domestic geomagnetic investigations for the first time allow to determine paleomagnetic anomaly C25 and estimate the time of transfer rifting to spreading process as chrons C25r-C26n (57.656-59.237 ma). The eastablishing of Lomonosov ridge and Siberian margin splitting zone is made. The Euler pole for the splitting kinematic for first time calculated. The nocoinciding of conjugate isobaths related to process of sliding peripheral continental crust areas along lithosphere thrust plane for the first time is calculate.

**Keywords:** Arctic ocean, Gakkel ridge, euler poles, kinematic model