

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМАМ ТЕКТОНИКИ И ГЕОДИНАМИКИ
ПРИ ОНЗ РАН
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ГИН РАН)
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ им. М.В. ЛОМОНОСОВА



ТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА ЗЕМНОЙ КОРЫ И МАНТИИ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ-2024

Материалы LV Тектонического совещания

Том 1

Москва
ГЕОС
2024

УДК 549.903.55 (1)

ББК 26.323

Т 76

Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2024. Материалы LV Тектонического совещания. Т. 1. М.: ГЕОС, 2024. 289 с.

ISBN 978-5-89118-881-5

DOI 10.34756/GEOS.2024.17.38796

Ответственный редактор

К.Е. Дегтярев

На 1-ой стр. обложки:

Гляциодислокации в верхнемеловых отложениях р. Коньячной,

Западный Таймыр

(Фото М.А. Рогова, 2021)

© ГИН РАН, 2024

© Издательство ГЕОС, 2024

кеанической островной дуги с цепью палеосимаунтов. В результате этого столкновения формируется шалапский меланжевый комплекс, содержащий мегаблоки внутриплитных базальтов аламбайской свиты. В условиях реорганизации зоны субдукции происходит эксгумация узкой тектонической пластины гранатовых амфиболитов ангурепского комплекса. Олистолиты гранатовых амфиболитов попадают в неметаморфизованный осадочный меланж позднее 500 млн лет. Еще одним следствием тектонической перестройки зоны субдукции является затухание надсубдукционного вулканизма в конце раннего кембрия и размыв островодужной постройки в среднем кембрии с образованием вулканомиктовых конгломератов бачатской свиты и верхнекембрийско-нижнеордовикского флиша зелено-фиолетовой серии. В позднем кембрии островодужный вулканизм возобновляется, однако вулканические центры смещаются, вероятно на восток в современных координатах, в сторону Сибирского континента, на современном эрозионном срезе позднекембрийские вулканы представлены преимущественно туфами, а вулканические постройки этого возраста на Салаире не известны.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ, проект № 23-27-00033.

**А.В. Зайончек¹, С.Ю. Соколов¹, А.В. Соловьев^{1,2},
Е.Г. Коротких³, С.И. Шкарубо⁴**

Тектоническое развитие пролива Фрама в позднем миоцене

В географическом отношении пролив Фрама расположен между Гренландией и архипелагом Шпицберген и соединяет Норвежско-Гренландский и Арктический бассейны. Проходящие через этот пролив течения обеспечивают водообмен между Северным Ледовитым океаном (СЛО) и Северной Атлантикой. Вдоль восточных берегов Гренландии проходит холодное Восточно-Гренландское течение, а на противоположной стороне проходит теплое Западно-Шпицбергенское течение (рис. 1, а).

¹ Геологический институт РАН, Москва, Россия

² ВНИГНИ, Москва, Россия

³ retired, (TGS-NOPEC, Asker, Norway)

⁴ ООО «МАГЭ», Мурманск, Россия

В тектоническом плане прапролив Фрама примерно в два раза длиннее, т.к. северным подводным продолжением арх. Шпицбергена (ШП) является плато Ермака, являющееся редуцированным блоком континентальной коры [6]. В пределах области прапролива находятся такие яркие тектонические структуры, как спрединговый хребет Книповича (ХК), расположенный западнее южного и центрального побережья ШП, который через систему трансформных нарушений, ограничивающих впадину Моллой (ВП), соединяется с трогом Лены, продолжением которого в Евразийском бассейне СЛО является срединно-океанический хребет Гаккеля (ХГ) (рис. 1, а).

Изучение тектонического развития данной области является сложной задачей в силу косоого раскрытия, что проявляется в заложении трансформных разломов и смещений, а также перескоков оси раскрытия и затрудняет интерпретацию аномального магнитного поля (АМП) и выделение идентифицируемых осей линейных магнитных аномалий (ЛМА) [1, 4]. Геологической службой Норвегии в 2016 и 2018 гг. над ХК и прилегающими глубоководными котловинами были выполнены современные высокоточные аэромагнитометрические съемки. Полученные результаты не привели к существенному прогрессу в понимании тектонического развития данной области, т.к. позволили провести моделирование с целью идентификации ЛМА только для одного короткого сегмента ХК [5].

Поэтому, одним из основных методов исследования тектонического развития остается модельный подход, базирующийся на создании кинематических реконструкций, например, [5, 6] и проверка их соответствия геолого-геофизическим данным. Для района исследования выполнены расчеты положений линий дрейфа и теоретических осей линейных магнитных аномалий (ТЛМА) с использованием мгновенных полюсов раскрытия для Евразийской и Северо-Американской литосферных плит [12] в диапазоне хрон C1n – bno, охватывающих временной интервал последних 20 млн лет. Ранее такой подход использовался при изучении этапов раскрытия Евразийского бассейна [2].

Направление хорошо читаемых линеаментов в АМП [5] и гравитационных аномалиях полностью соответствует направлению линий дрейфа, ортогональному локальным сегментам рифтовой долины ХК и выделяемых в ее пределах внутренним локальным вулканическим хребтам незначительного протяжения (рис. 1, а). Это свидетельствует в пользу того, что последние 20 млн лет раскрытие ХК полностью контролировалось направлением движения литосферных плит. Расчеты показывают, что впадина Моллой (ВП) начала формироваться в период хроны C3An.2no (~6.7 млн лет), что соответствует времени изменения осадочного режима в бассейне Моллой, расположенном в центральной части пролива Фрама, зафиксированного по результатам изучения керна скв. ODP909 [7]. Пери-

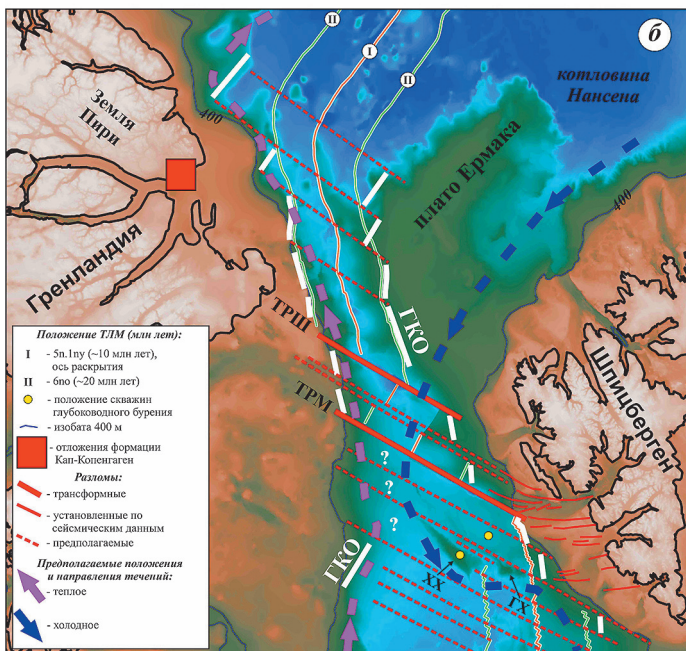
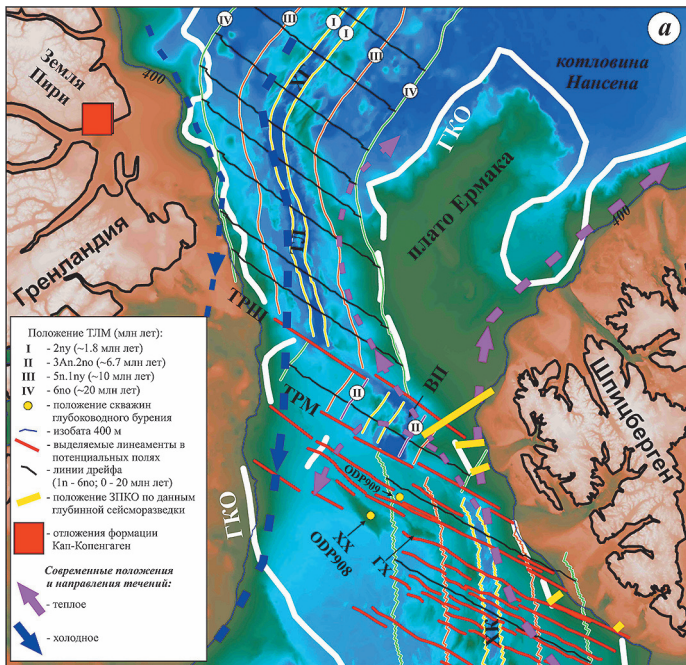
од ~6.4–4.6 млн лет характеризуется 3-х кратным увеличением скоростей седиментации, высоким содержанием смектита в осадках и более высокими количествами магматического материала в крупнозернистых отложениях. Как следует из результатов изучения керна скважины ODP908 (положение см. на рис. 1, а) во временном интервале ~6.7–4.6 млн лет происходило непрерывное опускание хребта Ховгарда, который до этого находился в условиях мелководья или субаэральных, что связывается с расширением/углублением центральной части пролива Фрама [8]. Хребет является континентальным осколком западной окраины Баренцева моря [6] который, согласно теоретическим расчетам, начал отделяться от нее чуть ранее ~20 млн лет назад (рис. 1, а, б). Таким образом, с момента его отделения до момента начала погружения прошло ~14 млн лет. Скорее всего, подобным осколком является и гора Ховгарда, которая начала отделяться от окраины чуть ранее 10 млн лет (рис. 1, б).

В генеральном плане участок между трансформными разломами Моллой (ТРМ) и Шпицберген (ТРШ) распадается на два сегмента, разделенных неактивным в настоящем разломом [4]. Согласно теоретическим расчетам, южный сегмент начал раскрываться в период хроны С6по (~20 млн лет), о чем свидетельствует совпадение положения ТЛМА и границы перехода континент океан (ГКО). В северном сегменте, начинающемся от окончания хорошо читаемого в батиметрических данных срединного хребта ВП, раскрытие до хроны С3Ап.2по (~6.7 млн лет) происходило западнее в сторону трога Лены (ТЛ) и был перескок оси раскрытия в восточном направлении и между ТРМ и ТРШ. Это означает, что в период времени ~20–6.7 млн лет существовал палеотрансформный разлом (рис. 1, б), который является унаследованным от более раннего этапа тектонического развития, т.к. в сейсмических данных он прослеживается в пределах западного шельфа ШП [3]. По-видимому, период ~6.4 (6.7?)–4.6 млн лет, когда наблюдается ускорение седиментации, характеризует длительность интервала геодинамической перестройки, которая должна была привести к изменению положений подводных течений.

Согласно теоретическим расчетам (рис. 1, а, б) спрединг в самом северном сегменте современного ХК начался ~10 млн лет (хроны 5п.1ну).

Рис. 1. Основные тектонические элементы области сочленения Северной Атлантики и Евразийского бассейна (а) и реконструкция раскрытия прапролива Фрама возрастом ~10 млн лет (С5п.1ну).

ХГ – хребет Гаккеля, ХК – хребет Книповича, ТЛ – трог Лены, ВП – Впадина Моллой, ТРШ – трансформный разлом Шпицберген, ТРМ – трансформный разлом Моллой, ХХ – Хребет Ховгарда, ГХ – гора Ховгарда, ГКО – положение границы континент океан по геофизическим данным



Этот возраст коррелируется с зафиксированной по результатам изучения керна скважины ODP909 резкой смене характера осадконакопления (10.8 ± 0.9 млн лет) с повышенным отложением крупнозернистого материала и обогащением каолинита мелкой фракцией [7]. Последние факторы интерпретируются как индикаторы айсбергового переноса материалов, подвергшихся ледниковой эрозии, из поднятой северной части Баренцева моря к проливу Фрама [9]. Возраст ~ 10 млн лет, очевидно, отражает крупное палеоокеанографическое событие, связанное с одним из этапов открытия пролива Фрама, которое устанавливается по появлению в сейсмической записи характерного отражающего горизонта, фиксирующегося на профилях, расположенных в западной и центральной частях Евразийского бассейна [2, 6]. Как следует из плейт-тектонической реконструкции (рис. 1, б) между южной частью ШП и ГР до ~ 10 млн лет раскрытие пролива Фрама происходило западнее хребта Ховгарда (ХХ), что поддерживает точку зрения о прохождении холодного течения из Евразийского бассейна в сторону пролива Фрама вдоль северной окраины Баренцева моря [9]. В этом случае встречное теплое течение из Атлантического океана должно было проходить вдоль восточного подводного склона Гренландии (рис. 1, б).

Древние образцы ДНК были выделены из осадочных отложений формации Кап-Копенгаген в северо-восточной Гренландии (положение см. на рис. 1, а, б), магнитостратиграфически датируемой примерно двумя миллионами лет [10]. Было выявлено присутствие ДНК, принадлежащих более чем 100 различным видам растений и животных, включая мастодонтов и северных оленей. Это указывает на то, что в позднем *плиоцене* и раннем *плейстоцене* в данном регионе «полярной пустыни» температуры были на $11\text{--}19$ °C выше, чем сегодня [10]. При этом присутствие ДНК мечехвоста и зеленых водорослей указывает на то, что воды, окружающие северную Гренландию, были намного теплее, чем сегодня.

Возраст ~ 1.8 млн лет фиксирует окончание одного из этапов ($\sim 2.7\text{--}1.8$ млн лет) формирования интенсивных ледниково-морских отложений на западном склоне ШП и расположенных между ним и восточным флангом ХК котловине. В это время резко ограничивается поступление осадков непосредственно в палеорифтовую долину ХК [11], что отражает смену океанографических условий. Можно предположить, что в период времени $\sim 10\text{--}1.8$ млн лет назад теплое течение из Атлантики проходило вдоль восточного склона окраины Гренландии, а встречное холодное течение вдоль континентальной окраины ШП (рис. 1, б). «Зеркальная» смена положений течений произошла ~ 1.8 млн лет назад в результате достаточного раскрытия ХК в его северной части. Температура теплового протечения должна была быть достаточно высокой, чтобы обеспечить существование обширной фауны и флоры на северо-востоке Гренландии,

даже в условиях полярной ночи. Это ставит вопрос о возможности прохождении пратечения в Северной Атлантике вдоль восточных побережий Северной Америки и Гренландии, что могло снизить теплопотери при достижении северо-восточного побережья Гренландии.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Проекта РНФ № 22-27-00578 «Новейшая и современная геодинамика Западной Арктики: эволюция и воздействие активных тектонических процессов на структурные элементы и осадочный чехол глубоководных котловин и шельфов».

Литература

1. Гусев Е.А., Шкарубо С.И. Аномальное строение хребта Книповича. Российский журнал Наук о Земле. Т. 3. № 2. 2001. С. 165–181.
2. Зайончек А.В., Соколов С.Ю., Соловьев А.В. Эволюция Евразийского бассейна в дочетвертичное время: результаты интерпретации сейсмического профиля ARC1407A // Геотектоника. 2023. № 6.
3. Казанин Г.С., Федухина Т.Я., Шлыкова В.В., Парамонова М.С., Зуйкова О.Н., Захаренко В.С. Комплексные геофизические исследования на Западно-Шпицбергенской континентальной окраине // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Вып. 3. М.: ГЕОС, 2011. С. 19–29.
4. Соколов С.Ю., Абрамова А.С., Зарайская Ю.А., Мазарович А.О., Добролюбова К.О. Современная тектоника северной части хребта Книповича, Атлантика // Геотектоника. 2014. № 3. С. 16–29.
5. Dumais M.-A., Gernigon L., Olesen O., Johansen S.E. Bronner M. New interpretation of the spreading evolution of the Knipovich Ridge derived from aeromagnetic data. *Geophys // J. Int.* 2021. V. 224. P. 1422–1428.
6. Engen Ø., Faleide J.I., Dyreng T.K. Opening of the Fram Strait gateway: A review of plate tectonic constraints // *Tectonophysics.* 2008. V.450. P. 51–69.
7. Gruetzner J., Matthiessen J., Geissler W.H., Gebhardt A.C., Schreck M. A revised core-seismic integration in the Molloy Basin (ODP Site 909): Implications for the history of ice rafting and ocean circulation in the Atlantic-Arctic gateway // *Global and Planetary Change.* 2020. V. 215. Article № 103876.
8. Knies J., et al. Effect of early Pliocene uplift on late Pliocene cooling in the Arctic–Atlantic gateway // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2014. V. 387. P. 132–144.
9. Knies J., Gaina, C., 2008. Middle Miocene ice sheet expansion in the Arctic: views from the Barents Sea // *Geochem. Geophys. Geosyst.* V. 9. Is. 2. Q02015.
10. Kurt et al. A 2-million-year-old ecosystem in Greenland uncovered by environmental DNA // *Nature.* 2022. V. 612. P. 283–296.
11. Kvarven T., Hjelstuen B.O. Mjelde R. Tectonic and sedimentary processes along the ultraslow Knipovich spreading ridge // *Mar. Geophys Res.*(2014. V. 35:89–103.

12. *Merkouriev S., DeMets C.* High-resolution Quaternary and Neogene reconstructions of Eurasia–North America plate motion // *Geophys. J. Int.* 2014. V. 198. P. 366–384.

В.Г. Захаров¹

Оппозиция гидролого-климатических и атмосферных процессов вдоль трассы Севморпути в XX–XXI вв.

Под оппозицией понимается разнонаправленность гидрометеорологических процессов в различных районах Арктики, впервые отмеченная В.Ю. Визе в 1926 г.

В Северной полярной области и на трассе Севморпути оппозиции природных процессов отчетливо проявляются в ряде характеристик климата, динамики течений, морских льдов, ледников, атмосферной циркуляции, а также взаимосвязей поверхностных течений Северного Ледовитого океана (СЛО) с гравитационным полем бассейна [1–6].

Особенности проявления климатической оппозиции в Северной полярной области

В практическом отношении климатическая оппозиция состоит, в том, что благоприятные условия ледовых проводок в западном районе арктического океана и в сибирских арктических водах (САВ) часто сопровождаются тяжелыми условиями в восточном и, наоборот. Крайне редко благоприятные условия плавания отмечаются сразу на всей трассе Севморпути.

Районами наиболее активной оппозиции являются, с одной стороны, северная часть Баренцева моря, с другой – Чукотское море. Анализ материалов многолетних гидрометеорологических наблюдений показывает, что тенденция к оппозиции в этих районах прослеживается на всех стадиях современных колебаний климата Арктики. Так, потепление Арктики в 20–30-е годы XX столетия охватило не всю Арктику, а получило наибольшее развитие в атлантическом секторе и сопровождалось значительным уменьшением ледовитости, смещением к северу ареалов флоры и фауны. В это же время в тихоокеанском секторе изменения в климатической системе носили противоположный характер, хотя были значительно менее

¹ Геологический институт РАН, Москва, Россия