



**XII Международная научно-практическая конференция
«Морские исследования и образование»
MARESEDU-2023**

**XII International conference
«Marine Research and Education»
MARESEDU-2023**

**ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ /
CONFERENCE PROCEEDINGS
Том IV (IV) / Volume IV (IV)**

**23-27 октября 2023 г.
г. Москва**



УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

T78

Труды XII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2023)» Том IV (IV): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2024, 505 с.:

ISBN 978-5-6049290-6-3

ISBN 978-5-6051693-1-4 (т.4)

Сборник «Труды XII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2023)» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции, состоящую из четырех томов. Сборник включает в себя главы, соответствующие основным секциям технической программы конференции: океанология, гидрология, морская геология, гидрографические и геофизические исследования на акваториях, морские ландшафты морская биология, морские млекопитающие, рациональное природопользование и подводное культурное наследие. Помимо основных секций на конференции были представлены: пленарная сессия, посвященная 70-летию кафедры океанологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и 85-летию ББС МГУ имени Н.А. Перцова, секция научно-популярных фильмов и круглые столы: «Современные авиационные исследования объектов биологического разнообразия. Практика и перспективы развития» и «Применение искусственного интеллекта для изучения биологических объектов».

Все тезисы представлены в редакции авторов.

В рамках конференции участники обсудили состояние и перспективы развития комплексных исследований Мирового океана, шельфовых морей и крупнейших озер, актуальные проблемы рационального природопользования и сохранения биоразнообразия в водных пространствах, проблемы освоения ресурсов континентального шельфа, достижения науки в области морской геологии, современные подходы к исследованиям обширных акваторий дистанционными методами, проблемы устойчивого развития экосистем моря и прибрежной зоны, организацию и проведение комплексных экспедиционных исследований, преподавание «морских дисциплин», вопросы организации полевых практик студентов.

Подготовлено к выпуску издательством ООО «ПолиПРЕСС» по заказу ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

ООО «ПолиПРЕСС»

170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский
пр-т, д. 7, пом. II polypress@yandex.ru

Все права на издание принадлежат
ООО «Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова».

© ООО «Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова», 2024
© ООО «ПолиПРЕСС»

УДК 551.242.23

Рубрика 38.17.27

ЭВОЛЮЦИЯ ТРАНСФОРМНОГО РАЗЛОМА ЭНДРЮ-БЕЙН (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)

ANDREW BAIN TRANSFORM FAULT EVOLUTION (BASING ON PHYSICAL MODELLING)

Боголюбский Вячеслав Андреевич^{1,2}, Дубинин Евгений Павлович^{1,2}, Грохольский Андрей Львович²

¹ *Геологический факультет, МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва*

² *Музей Землеведения МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва*

Bogoliubskii Viacheslav Andreevich^{1,2}, Dubinin Evgeniy Pavlovich^{1,2}, Grokholsky Andrey Lvovich²

¹ *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Moscow*

² *Lomonosov Moscow State University, The Earth Sciences Museum, Moscow*

Система трансформных разломов (ТР) Дю Туа – Эндрю-Бейн – Принс Эдуард разделяет две части Юго-Западно-Индийского спредингового хребта, различные по своему тектоническому строению и эволюции, таким образом, являясь одним из немногих примеров систем демаркационных разломов. Хребет и трансформные разломы развиваются в условиях ультрамедленного спрединга со скоростями растяжения не более 16 мм/год. Среди этих разломов выделяется ТР Эндрю-Бейн, обладающий наиболее сложной внутренней структурой. Общее смещение спрединговых хребтов по системе трансформных разломов составляет 1230 км (Пейве и др., 2007). Данная система трансформных разломов заложилась ещё при расколе Гондваны в период 153,7-157 млн лет назад при начале спрединга в пределах Мозамбикского бассейна (Thompson et al., 2019). Скорости спрединга на протяжении развития хребта не были постоянны и варьировались от 66,2 мм/год (>76 млн лет назад) до 14,2 мм/год (~10 млн лет назад) (Yu et al., 2020).

В ходе своего развития система трансформных разломов претерпела несколько кинематических перестроек, оказавших значительное влияние на её морфологию. Первое подобное событие относится к периоду от >84 млн лет назад, когда изменение направления растяжения с северного на северо-восточное, вероятно, привело к началу формирования полиразломной системы. Следующим значимым событием стало изменение направления растяжения на 90° в районе 69 млн лет, однако, уже 56-52 млн лет назад направление растяжения вновь сменилось на северо-восточное. В рельефе эти два события прослеживаются в виде сигмовидных в плане пассивных следов системы трансформных разломов. Вероятнее всего, начиная с 69 млн лет произошло резкое увеличение количества плоскостей сдвига, что и было зафиксировано в рельефе (Sclater et al., 2005; Пейве, 2009).

Последние значительные изменения фиксируются около 20 млн лет с небольшим изменением направления растяжения (не более 10°), что, предположительно, привело к формированию сложного структурного плана, наблюдаемого в пределах ТР Эндрю-Бейн. Он включает в себя

несколько параллельных трансформных долин, разделяемых межразломными хребтами, ряд бассейнов пулл-эпарт и систему косых впадин и хребтов. Имеющиеся в настоящее время гипотезы в основном представляют развитие данного структурного плана как результат постепенного изменения простирания внутритрансформного спредингового сегмента от субортогонального к направлению растяжения до транстенсивного (25-35°) (Sclater et al., 2005; Пейве, 2009).

Для воспроизведения условий эволюции ТР Эндрю-Бейн на разных этапах развития была использована методика физического моделирования, проводившееся на базе лаборатории Музея Землеведения МГУ имени М. В. Ломоносова. Экспериментальная установка включает текстолитовую ванну, поршень, растягивающий модельное вещество, и систему внутреннего нагрева. Модельное вещество представляет собой смесь парафина, вазелина и церезина. Его свойства удовлетворяют критерию подобия океанической литосферы, включающему в себя плотность материала, его толщину и предел прочности на сдвиг (Шеменда, 1983).

После плавления вещества в установке его верхний слой охлаждается вентилятором и по достижении необходимой толщины корки застывшего вещества (модельной литосферы) начинается её растяжение с помощью поршня. Вещество обладает упруго-вязко-пластичными свойствами и при определённых значениях температуры и скорости растяжения ведёт себя как хрупкое или пластичное тело. Деформации модельной литосферы определяются толщиной хрупкого слоя H и шириной ослабленной зоны W (Грохольский, Дубинин, 2010). Также в модель можно ввести локальный источник нагрева, имитирующий термическую активность мантийного плюма. В рамках моделирования ТР Эндрю-Бейн были использованы также новые методики визуализации результатов физического моделирования, включающие построение цифровой модели рельефа эксперимента и фиксацию температурного поля эксперимента с помощью тепловизора InfiRay T3S.

В ходе моделирования было осуществлено три серии экспериментов. Первая серия экспериментов включала в себя систему ортогональных друг к другу разрезов, имитирующую политрансформную систему, наклонённую под углом 45° по отношению к направлению растяжения, что соответствует резкому изменению направления растяжения около 69 млн лет. В ходе растяжения система трансформных разломов длительное время сохраняла свою изначальную конфигурацию, но затем в краевых частях прилегающих сегментов уже существовавшие нетрансформные смещения начали постепенно увеличивать свой оффсет. Таким образом, к концу эксперимента суммарное смещение осей спрединга по политрансформной системе возросло практически на 30%, а общее количество сдвиговых плоскостей увеличилось с трёх до пяти. При этом, существовавшие трансформные разломы в ходе растяжения также изменяли значения своего оффсета в ходе локальных перескоков оси спрединга. Подобная ситуация также наблюдается в пределах современной системы трансформных разломов: на флангах межразломных спрединговых сегментов по данным многолучевой батиметрии отчётливо прослеживается ряд отмерших рифтовых долин, имеющих возраст не более 20 млн лет, что также позволяет связать их происхождение с вышеописанными изменениями кинематики трансформной системы.

Вторая серия экспериментов имела аналогичную первой конфигурацию, однако, вся система СОХ-ТР была повернута относительно направления растяжения на 30° таким образом, чтобы по системе трансформных разломов реализовывалась транспрессия. В результате растяжения изначально существовавшие межразломные спрединговые сегменты постепенно изменяли свою ориентировку, переходя ко всё более косому растяжению, а их форма в плане представляла собой ромбовидные впадины, соединённые между собой слегка наклонными (<15°) к направлению растяжения сдвиговыми зонами. На конечной стадии эксперимента все три сдвиговые зоны объединились в единую протяжённую сдвиговую зону. В краевых частях трансформная зона постепенно изменяла своё простирание, переходя в прилегающие спрединговые сегменты. Данная экспериментальная серия соответствует эволюционной

Заключительная серия экспериментов (рис. 1) имела целью реконструкцию условий формирования современной структуры ТР Эндрю-Бейн, формирующейся, предположительно, начиная с 20 млн лет. В изначальной конфигурации задавалось два спрединговых сегмента (разреза), располагающихся под углами 10° и 25° к направлению растяжения, соединённых косым (80°) разрезом линзовидной формы. Результатом данной экспериментальной серии стало образование сложной структуры, включающей в себя две сдвиговые зоны, соединённые ортогональным межразломным сегментом, и системы перекрывающихся сегментов разной степени наклона при взаимодействии которых формируются вращающиеся блоки поднятий. Данный структурный план хорошо согласуется с вышеописанной структурой ТР Эндрю-Бейн и позволяет внести некоторые дополнения в имеющиеся эволюционные схемы трансформного разлома. Так, что внутритрансформный косой центр растяжения несколько раз совершал перескок в северном направлении, реактивизируя участки более древней трансформной долины, а ортогональный центр спрединга постепенно изменял своё простирание, приобретая значительную сдвиговую компоненту и формируя бассейн пулл-эпарт, на протяжении длительного времени существуя параллельно вместе с косым спрединговым сегментом

Таким образом, при кинематических перестройках 69 млн лет назад, увеличение количества сдвиговых плоскостей политрансформной системы, вероятнее всего, происходило, не постепенно, а через серию перескоков оси спрединга. При последующем изменении направления растяжения 56-52 млн лет, спрединговые сегменты, наоборот, сохраняли своё пространственное положение и постепенно изменяли своё простирание, что могло привести к формированию широкой зоны деформаций и линзовидной в плане формы ТР Эндрю-Бейн. Впоследствии, именно эти условия явились ключевыми для формирования современной структуры ТР Эндрю-Бейн после изменения направления растяжения 20 млн лет назад.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда проект № 22-27-00110.

Список литературы:

1. Грохольский А.Л., Дубинин Е.П. Структурообразование в рифтовых зонах и поперечных смещениях осей спрединга по результатам физического моделирования // Физика Земли. – 2010. – № 5. – С. 49–55.
2. Пейве А.А. Аккреция океанической коры в условиях косого спрединга // Геотектоника. – 2009. – № 2. – С. 5-19
3. Пейве А.А., Сколотнев С.Г., Лиджи М. и др. Исследования зоны трансформного разлома Эндрю-Бейн (Африкано-Антарктический регион) // Доклады АН. – 2007. – Т. 416, №1. – С. 77-80.
4. Шеменда А.И. Критерии подобия при механическом моделировании тектонических процессов // Геология и геофизика. – 1983. – № 10. – С. 10–19.
5. Sclater J.G., Grindlay N.R., Madsen J.A., Rommevaux-Jestin C. Tectonic interpretation of the Andrew Bain transform fault: Southwest Indian Ocean // *Geochem. Geophys. Geosyst.* – 2005. – Vol. 6. – Q09K10
6. Thompson J.O., Moulin M., Aslanian D., de Clarens P., Guillocheau F. New starting point for the Indian Ocean: Second phase of breakup for Gondwana // *Earth-Science Reviews.* – 2019. – Vol. 191. – P. 26–56.

7. Yu X., Dick H., Li X.H., You C.F., Hui D.Y., Hang H. The geotectonic features of the Southwest Indian Ridge and its geodynamic implications // Chinese Journal of Geophysics. – 2020. – Vol. 63, No. 10. – P. 3585-3603.