

УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

Т78

Труды X Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)» Том III (III): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2021, 446 с.: ISBN 978-5-6047776-1-9.

Сборник «Труды X Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции, состоящую из трех томов. Сборник включает в себя главы, соответствующие основным секциям технической программы конференции: океанология, гидрология, морская геология, морская биология, геофизические исследования на акваториях, рациональное природопользование и подводное культурное наследие. Помимо основных секций на конференции были представлены секция научно-популярных фильмов и круглый стол "Плавучие университеты России: новый виток развития", отдельный день работы конференции был отведен под международные сессии с участием ведущих иностранных ученых из Англии, Бельгии, Шотландии, США.

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

ООО «Центр морских исследований МГУ
имени М.В. Ломоносова».

РФ, 119234, г. Москва, ул. Ленинские
Горы, д. 1, стр. 77

(495) 648-65-58/ 930-80-58

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

© ООО «Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова», 2021
© ООО «ПолиПРЕСС»

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МОЗАМБИКСКОГО ХРЕБТА (ФИЗИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ)

CONDITIONS FOR THE FORMATION OF THE MOZAMBIQUE RIDGE (PHYSICAL
MODELLING)

**Толстова Анастасия Ильинична¹, Дубинин Евгений Павлович², Грохольский
Андрей Львович²**

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

² *Музей Землеведения МГУ им. М.В. Ломоносова*

Tolstova Anastasia Ilyinichna¹, Dubinin Evgeny Pavlovich², Grokholsky Andrei Lvovich²

¹ *Lomonosov Moscow State University*

² *The Earth Science Museum at Moscow State University*

Введение

Работа посвящена выявлению условий формирования Мозамбикского хребта, расположенного в юго-западной части Индийского океана, между мезозойскими океаническими бассейнами: Наталь и Мозамбикским. Хребет представляет собой серию блоковых поднятий, возвышающихся до 3500 м над дном прилегающих котловин. Происхождение Мозамбикского хребта до сих пор остается дискуссионным. Одна из наиболее вероятных гипотез предполагает его частичное отделение от окраины Африканского материка в результате деятельности плюма Кару.

Современные исследования показывают, что северо-восточная часть хребта представляет собой утоненную континентальную кору, покрытую осадочным чехлом, в то время, как для его южной части характерно большое количество экстрозивных центров, свидетельствующих о повышенной магматической активности [Fisher et al, 2017].

С помощью метода физического моделирования проведены экспериментальные исследования по установлению условий формирования Мозамбикского хребта в результате его частичного отделения от Африканского континента под действием плюма Кару.

Строение Мозамбикского хребта

Мозамбикский хребет представляет собой вытянутую в субмеридиональном направлении структуру, простирающуюся почти параллельно береговой линии юго-восточной части Африки между 25° и 35° ю.ш. Хребет располагается между двумя океаническими бассейнами. Раннемеловой бассейн Наталь, который связан с отделением блока Фолклендского плато от юго-восточной оконечности Африки и раскрытием южной части Атлантики, и верхнеюрский Мозамбикский бассейн, связанный с относительным перемещением Африки, Антарктиды, Мадагаскара и Индии. Морфологически хребет представляет линейную структуру длиной около 1400 км и шириной 160 км на севере и 350 км на юге.

Хребет состоит из 3-х погруженных блоков (северный, центральный и юго-западный), разделенных долинами и депрессиями восточно-западного и северо-западного направления (Рис. 1). Иногда выделяют четвертый блок на юго-востоке хребта, который морфологически менее выражен на фоне остальных.

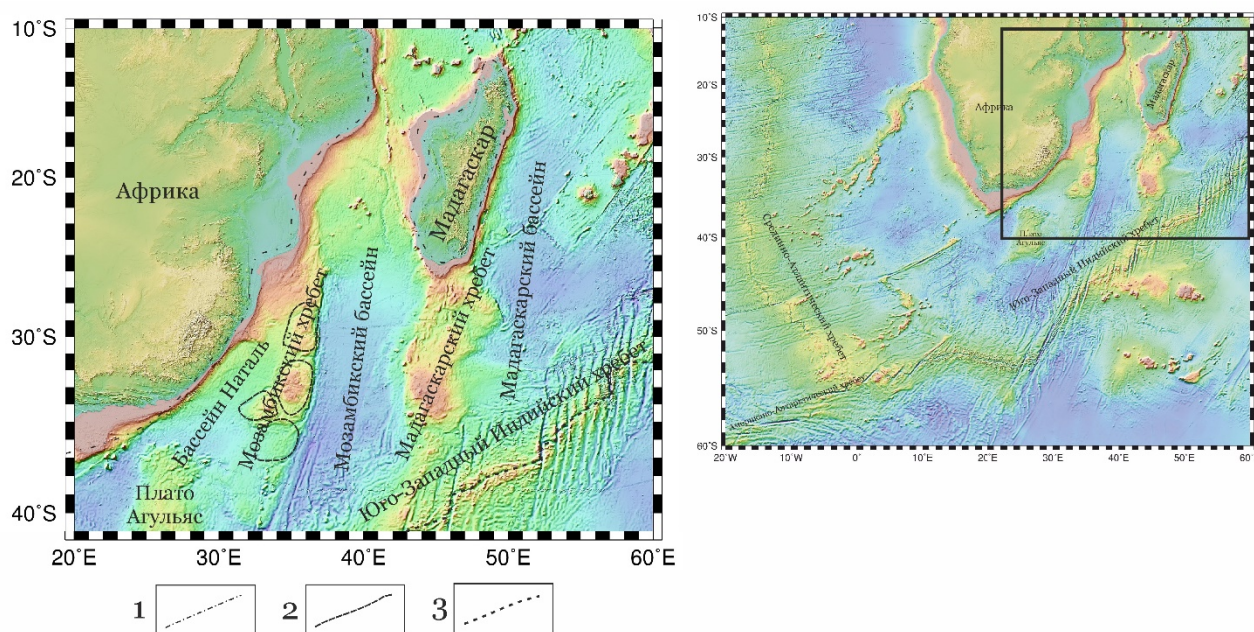


Рис. 1. Батиметрическая карта юго-западной части Индийского океана [Sandwell, 2014]. 1 – граница континентов, 2 – границы поднятий Мозамбикского хребта, 3 – ось Юго-Западного Индийского хребта.

Тектоническая история

Исследования строения Мозамбикского хребта начались еще в 1970-х годах. Тогда же были высказаны первые предположения о том, что Мозамбикский хребет сложен утоненной континентальной корой [Laughton et al., 1970].

Позднее эта гипотеза была подтверждена другими исследованиями [Mougenot et al., 1991, Ben Avraham et al., 1995], на основании изучения образцов пород, отобранных со дна океана, которые имели сходство с архейскими породами Африканского кратона. Хотя не исключена вероятность, что образцы драгированных метапелитов, гнейсов, анортозитов и метагаббро могли быть принесены течением вместе с ледниковыми отложениями Антарктики [Jacques et al., 2019]. Среди драгированных пород было обнаружено свежее вулканическое стекло, которое, по мнению исследователей, могло быть связано с неотектонической активностью.

Веские доказательства вулканической природы хребта были получены в исследованиях Симпсона [Simpson, 1974], который изучил толеитовые базальты мелового возраста. Геофизические данные подтвердили вулканическую природу хребта. Геомагнитные данные также указывают на то, что хребет имеет магматическое происхождение [König and Jokat, 2010]. В дальнейшем появились данные о том, что Мозамбикский хребет находится в изостатическом равновесии с соседней с ним океанической корой при глубине границы Мохо в 22 км. Отсюда последовали предположения об океаническом происхождении этой структуры.

Ряд исследователей предположили, что Мозамбикский хребет является микроконтинентом, отделенным от африканского материка [Marks and Stock, 2001; Marks and Tikku, 2001].

Современные исследования показывают, что северо-восточная часть хребта представляет собой утоненную континентальную кору, покрытую осадочным чехлом, в то время, как для его южной части характерно большое количество экструзивных центров, свидетельствующих об активном магматизме [Fisher et al, 2017]. Этот факт, наряду с результатами сейсмических исследований [Gohl et al., 2011] подтверждает возможность океанического происхождения

южной части Мозамбикского хребта, которая имеет геохимическое сходство с плато, образованными под действием горячих точек в Южной Атлантике [Jacques et al, 2019].

Обоснование начальных условий экспериментов

Сложное гетерогенное строение Африкано-Антарктического блока предопределило геометрию заложения рифтовых зон. Каапвальский кратон состоящий из архейского и палеопротерозойского ядра, окружен более молодыми аккретивными мезопротерозойскими и неопротерозойскими орогенными поясами: Намаква-Наталь и Панафриканским поясом соответственно. Геохимически пояса коррелируют с кратоном Груннегона в Антарктике, который формировался в течение позднего Мезопротерозоя и в Неопротерозойское время.

Пояс Намаква-Наталь был сформирован во время Намакуанской орогении в Мезопротерозое (1235 $\pm$ 9 и 1025 $\pm$ 8 млн лет) [Jacobs et al., 2003]. Восточная часть пояса - пояс Наталь - состоит из магматических пород, сформированных между 1235-1025 млн лет, основное коллизийное событие произошло 1135 млн лет назад.

В Антарктике одновременным произошла мезопротерозойская орогенная и магматическая активность, в результате которой образовался пояс Мод, который датируется 1171 $\pm$ 25 до 1045 $\pm$ 9 млн лет [Jacobs et al., 1998, 2003]. Наиболее вероятно существование единого орогенного пояса Намакуан-Наталь-Мод.

Исходя из особенностей строения Африканского кратона, нами были выбраны участки, имеющие гетерогенное строение и представляющие собой возможные зоны заложения рифтовых зон.

Метод моделирования и результаты

С помощью метода физического моделирования мы провели исследования по выявлению условий формирования Мозамбикского хребта в результате его отделения от гетерогенной коры Африканского континента под действием горячей точки.

Моделирование проводилось на экспериментальной установке, которая представляет собой текстолитовую ванну с поршнем, движущимся с помощью электромеханического привода. Внутри установки располагаются нагревательные элементы, поддерживающие температурное поле вещества, состоящего из смеси твердых и жидких углеводородов (церезина и парафина), минеральных масел и поверхностно активных добавок. Вещество обладает упруго-вязко-пластичными свойствами и обеспечивает выполнение условий подобия [Шеменда, 1983]. Изменение длительности охлаждения модельного вещества обеспечивает различное соотношение толщины хрупко-пластичного слоя литосферы. Важным элементом в постановке задачи для серии экспериментов было установление геометрии формирующихся при расколе трещин и выявление структурных неоднородностей в дораскольной литосфере. Учет влияния горячей точки Кару потребовал использования специальной методики создания термической аномалии в виде локального источника нагрева (ЛИН).

Подготовка экспериментов осуществлялась в несколько этапов: однородное модельное вещество нагревалось до температуры в 43 градуса, которая поддерживалась в течение всего эксперимента. Далее поверхность вещества охлаждалась с помощью вентилятора в течение 20 минут. В модельной континентальной литосфере механическим путем вырезалась трещина, имитирующая рифтовую трещину начального раскола, переходящую в ось

спрединга. После наращивания 1-3 см модельной океанической коры путем движения поршня и горизонтального растяжения литосферы, работа поршня приостанавливалась на 30 минут, для имитации переходного этапа в процессе перескока оси. Затем на расстоянии 1,5-2 см от оси спрединга включался ЛИН, который проплавлял область литосферы диаметром 2 см, имитирующую горячую точку Кару. Далее механическим путем вырезались две трещины с юга и севера от расплавленной области, имитирующие в природе ослабленные зоны, которые были выявлены на основе геологического строения Африканского кратона с более тонкой литосферой. И движение поршня возобновлялось.

Экспериментальным путем было выявлено, что в модельной литосфере происходит перескок оси спрединга в область более молодой континентальной окраины с отделением вытянутого континентального блока при наличии на молодой окраине горячей точки. Континентальный блок, отделяющийся от континентальной окраины испытывал вращение, при чем в южной его части формировался вулканический блок. Важную роль для перескока оси спрединга играет наличие разломов - ослабленных зон на молодой окраине.

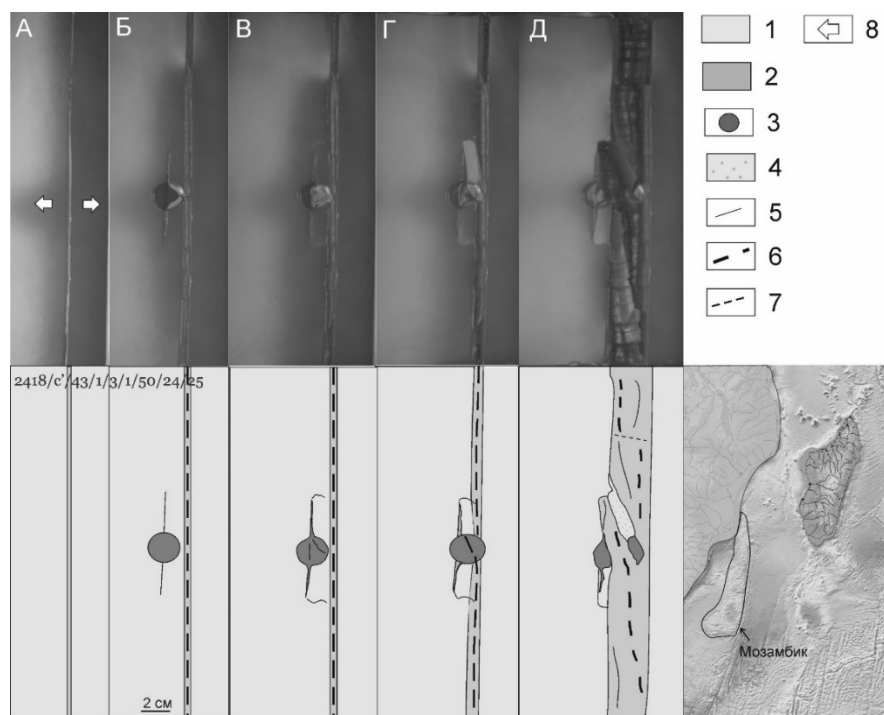


Рис. 2. Эксперимент 2418. Откол континентального блока и формирование на южной его части магматизма при перескоке оси спрединга под действием горячей точки. А-Д – стадии эксперимента, внизу – дешифрирование. 1 – континентальная модельная литосфера, 2 – вновь образованная модельная литосфера, 3 – расплав от горячей точки, 4 – блоки континентальной коры, отдаленные от материка, 5 – структурные линии, 6 – ось спрединга, 7 – трансформные и нетрансформные границы, 8 – направление растяжения.

В эксперименте №2418 сформировался континентальный микроблок, который испытывал вращение против часовой стрелки, так же, как и Мозамбикский хребет. В южной части микроблока сформировалось вулканическое поле под действием горячей точки.

Заключение

С помощью метода физического моделирования были проведены экспериментальные исследования по установлению условий формирования Мозамбикского хребта в результате его частичного отделения от Африканского континента под действием плюма Кару. Были выявлены условия, при которых формируются узкие-линейно-вытянутые континентальные блоки, а также магматические блоки, каким является южный участок Мозамбикского хребта, а также подтверждена возможность формирования Мозамбикского хребта путем перескока оси спрединга под действием плюма Кару.

Список литературы

Ben Avraham, Z., Hartnady, C.J.H., Le Roex, A.P., Neotectonic activity on continental fragments on the Southwest Indian Ocean: Agulhas Plateau and Mozambique Ridge. // J. Geophys. Res. – 1995. 100, p. 6199–6211.

Fischer, M.D., Uenzelmann-Neben, G., Jacques, G., Werner, R., The Mozambique Ridge: a document of massive multi-stage magmatism. // Geophys. J. Int. - 2017.

Gohl, K., Uenzelmann-Neben, G., Grobys, N., Growth and dispersal of a southeast African Large Igneous Province. // S. Afr. J. Geol. – 2011. 114, p 379–386.

Jacques, G., Hauff, F., Hoernle, K., Werner, R., Uenzelmann-Neben, G., Garbe-Schönberg, D., & Fischer, M. Nature and origin of the Mozambique Ridge, SW Indian Ocean // Chemical Geology. – 2019.

König, M., Jokat, W., Advanced insights into magmatism and volcanism of the Mozambique Ridge and Mozambique basin in the view of new potential field data. // Geophys. J. Int. – 2010. 180, 158–180

Laughton, A.S., Matthews, D.H., Fisher, R.L., 1970. The structure of the Indian Ocean. In: Maxwell, A.E. (Ed.), The Sea 4. Wiley, New York, pp. 543–586.

Marks, K.M., Stock, J.M., Evolution of the Malvinas Plate south of Africa. // Mar. Geophys. Res. – 2001. 22, pp. 289–302.

Marks, K.M., Tikku, A.A., Cretaceous reconstructions of East Antarctica, Africa and Madagascar. // Earth Planet. Sci. Lett. - 2001.186, pp. 479–495

Simpson, E.S.W., Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. vol. 25. U.S. Government Printing Office, Washington D.C., USA, - 1974. pp. 259–346.

Sandwell D.T., Smith W.H.F. Marine gravity anomaly from Geosat and ERS 1 satellite altimetry // J.Geophys.Res. - 1997. V .102. P. 10039-10054.