

## ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ И КИНЕМАТИКИ ВОСТОЧНОГО СЕГМЕНТА ЮГО-ЗАПАДНО-ИНДИЙСКОГО ХРЕБТА МЕЖДУ ТРАНСФОРМНЫМ РАЗЛОМОМ МЕЛВИЛЛ И ТРОЙНЫМ СОЧЛЕНЕНИЕМ РОДРИГЕС

© 2019 К.О. Добролюбова

*Геологический институт РАН, 119017, Москва, Россия; e-mail: k\_dobrolubova@mail.ru*

Крайний восточный сегмент Юго-Западного-Индийского хребта (ЮЗИХ) представляет собой уникальную клиновидную структуру. Отсутствие трансформных смещений в этом районе объясняется молодостью, аномально малой мощностью коры, а также ультрамедленными скоростями раскрытия, при которых пространственные напряжения компенсируются локальной трещиноватостью. В плане фиксируется наличие двух систем трещиноватости: одна из которых, вероятно, является отражением растягивающих напряжений глобального порядка, связанных с движением литосферных плит, а вторая маркирует локальные процессы растяжения. Четкая вдольосевая сегментация ЮЗИХ, является, скорее всего, отражением локальных плановых перестроек, которые имели место в процессе раскрытия клина. Компильция фактического материала, полученного в рейсах НИС «Академик Николай Страхов», и литературных данных позволяет сделать вывод о том, что раскрытие бассейна, скорее всего, идет по сценарию пассивного компенсационного разрыва, инициированного глобальной геодинамической перестройкой структурного плана Индийского океана.

*Ключевые слова: клиновидный спрединговый бассейн, Юго-Западно-Индийский хребет, тройное сочленение Родригес.*

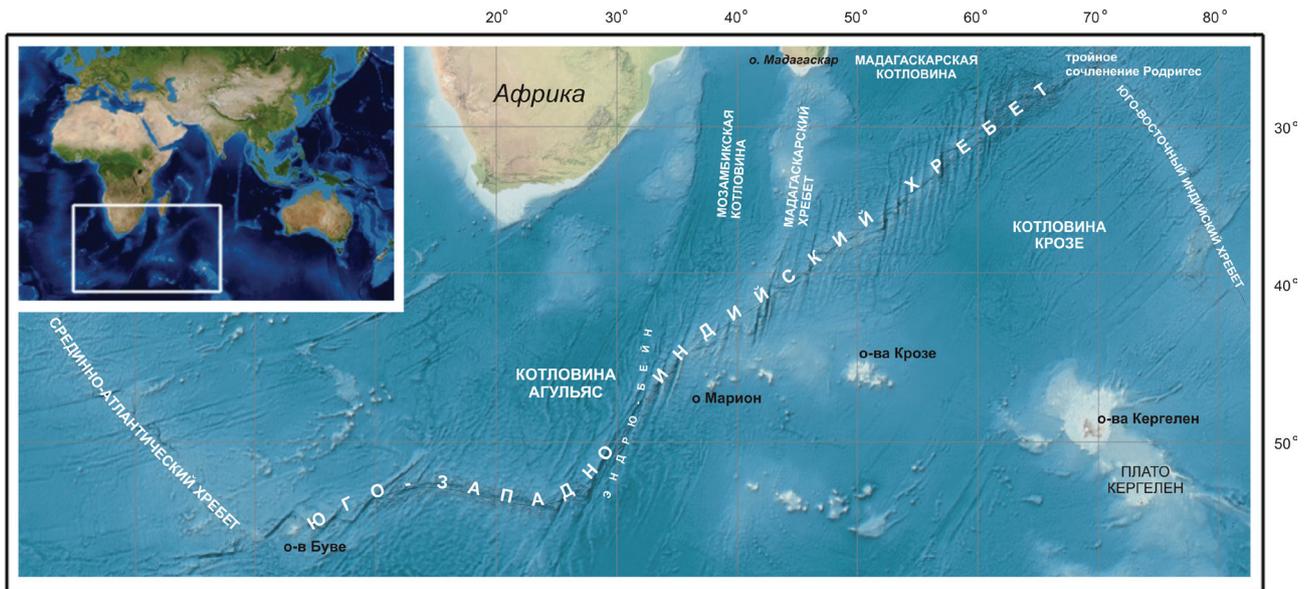
### ВВЕДЕНИЕ

Юго-Западно-Индийский хребет (ЮЗИХ) является одним из важнейших звеньев в планетарной системе срединно-океанических хребтов (СОХ) и протягивается в субширотном направлении от точки тройного сочленения Буве на западе до точки тройного сочленения Родригес (ТСР) на востоке, разделяя Африканскую и Антарктическую плиты (рис. 1). Общая протяженность хребта составляет более 7700 км. ЮЗИХ относится к ультрамедленно-спрединговым хребтам (Dick et al., 1999), со средней скоростью спрединга 13.6 мм/год (Sauter, 2010). Для него отмечена пониженная мощность коры и большое количество трансформных разломов, смещающих ось хребта на десятки и сотни километров. Самое значительное смещение приурочено к мегаразломной зоне Эндрю-Бейн, с длиной активной части порядка 750 км при ширине 120 км. (Пейве и др., 2007).

Вдоль простирания хребта на основании морфологических, кинематических различий, а также различий в глубинном строении, выделено шесть провинций (Дубинин и др., 2013) (рис. 2).

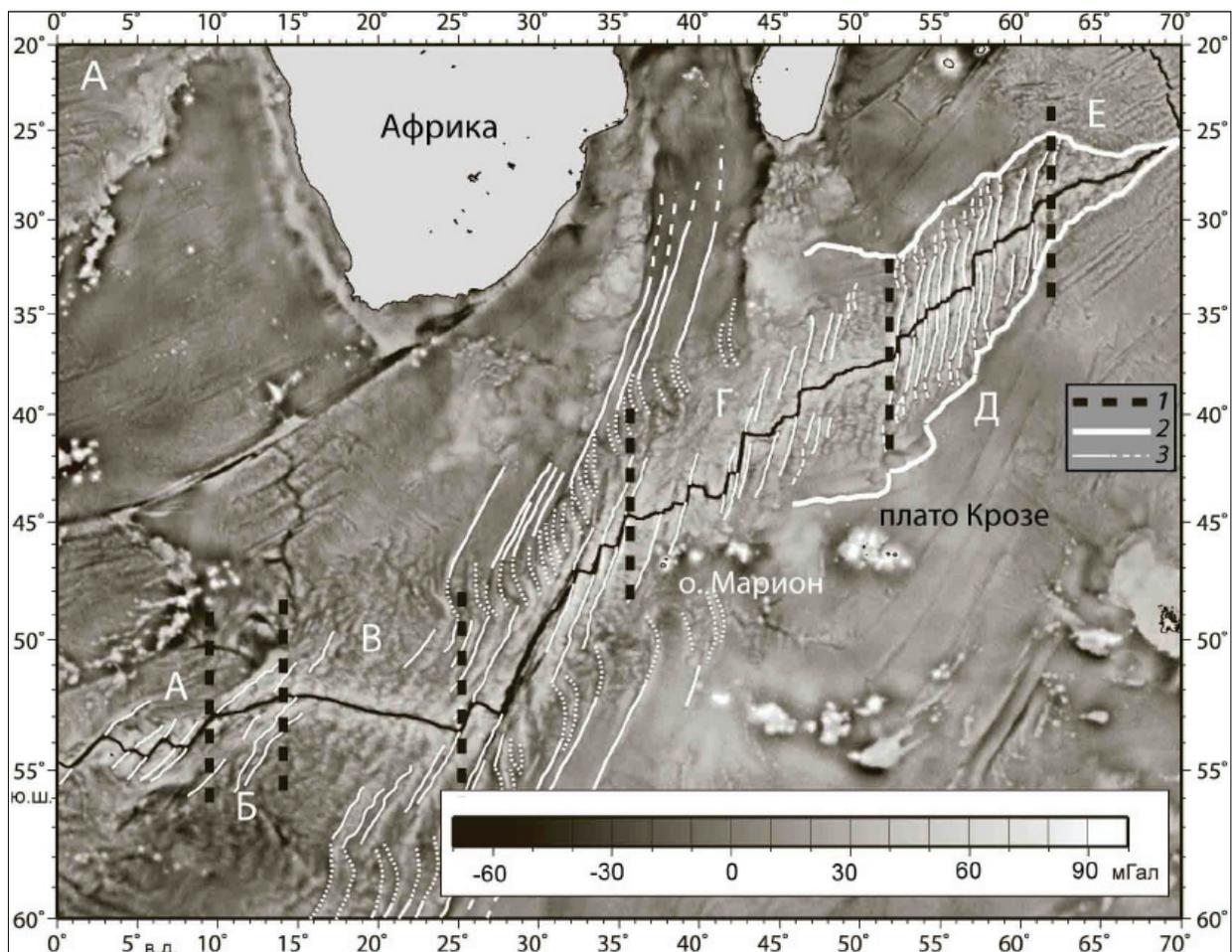
Особый интерес представляет собой клин Родригес (провинция Е), который в плане раскрывается как клиновидный спрединговый бассейн без сколь-нибудь значимых трансформных смещений. Клин берет свое начало в ТСР, где сходятся Центрально-Индийский, Юго-Восточно-Индийский (так называемый хребет 90 градуса) и Юго-Западно-Индийский хребты и срезается в районе 60° в.д. трансформным разломом Мелвилл (рис. 1). В этом месте ширина клина достигает 950 км (GEVCO, 2014). Максимальные глубины достигают 5700 м, при расчлененности рельефа порядка 4000 м (рис. 3). Скорость спрединга уменьшается в восточном направлении с 1.39 до 1.26 мм в год (Muller et al., 2008).

Статья посвящена рассмотрению особенностей геоморфологического строения

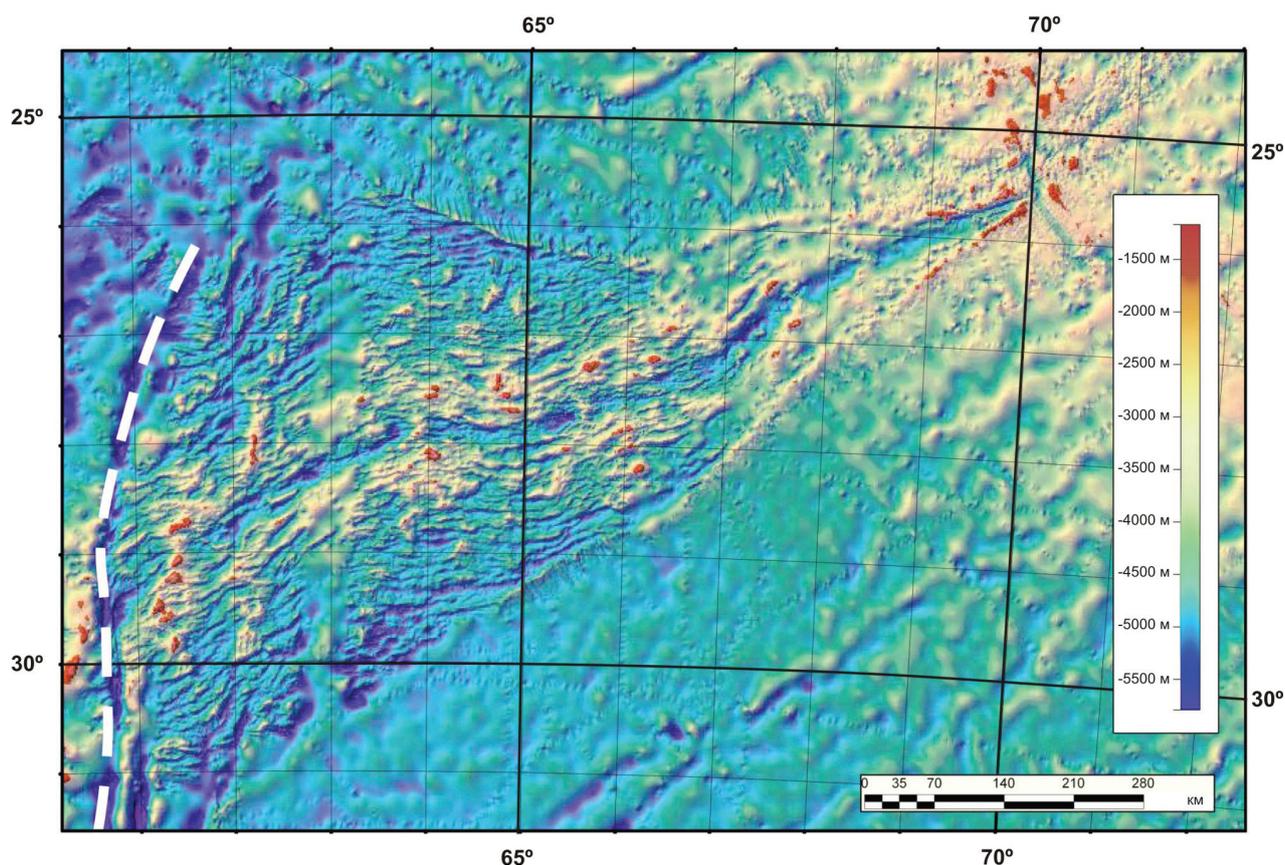


**Рис. 1.** Рельеф ЮЗИХ, район исследований (по данным GEBCO, 2014). На врезке — местоположение района на карте Мира.

**Fig. 1.** Relief of the Southwest Indian Ridge (according to GEBCO, 2014). The inset shows the area location on the World Map.



**Рис. 2.** Строение ЮЗИХ: тектоно-магматические провинции ЮЗИХ и структурные элементы прилегающих акваторий на карте аномалий гравитационного поля в свободном воздухе (Sandwell, Smith, 2009; Sauter, Cannat, 2010): 1 — границы провинций; 2 — внеосевые следы трансформных разломов; 3 — шовная зона между литосферой ЮЗИХ и Юго-Восточного Индийского хребта. (Дубинин и др., 2013). А-Е — расположение выделенных провинций хребта. Сплошной черной линией показано положение оси спрединга.



**Рис. 3.** Рельеф клиновидного спредингового сегмента Родригес по данным (GEBCO, 2014), белой пунктирной линией показан разлом Мелвилл.

**Fig. 3.** The relief of the wedge-shaped spreading segment Rodrigues according to data (GEBCO, 2014); the white dashed line denotes the Melville Fault.

клиновидного ультрамедленного спредингового бассейна Родригес в свете особенностей его тектонической эволюции и кинематики, полученных по геофизическим данным.

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе используются геофизические данные, находящиеся в свободном доступе в сети Интернет, опубликованные литературные данные, а также данные многолучевого эхолотирования Геологического института (ГИН) РАН по результатам 29 рейса НИС «Академик Николай Стрехов» (2012–2013 гг.) Съёмка многолучевым эхолотом со сплошным покрытием площади дна проведена при помощи гидроакустической системы картирования океанского дна (SeaBat 7150 Reson, Дания) на трех полигонах по системе субпараллельно ориентированных галсов перпендикулярно оси хребта.

Кроме съёмки на полигонах, дополнительные данные о рельефе дна были получены на переходах, которые планировались таким образом, чтобы составить полосу практически непрерывной съёмки. Сбор, визуализация и обработка батиметрических данных выполнялись в программе PDS2000 (Reson, Дания). По данным батиметрической съёмки коллективом из ГИН РАН были построены трехмерные цифровые модели рельефа, создана серия батиметрических карт, проведен подробный морфоструктурный анализ рельефа.

#### ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ КЛИНА РОДРИГЕС

Компиляция литературных данных, а также данных геофизических площадных съёмок находящихся в свободном доступе в глобальной сети

←  
**Fig. 2.** The structure of the Southwestern Indian Ridge: tectonic-magmatic provinces and structural elements of adjacent water areas on the map of free-air gravitational field anomalies (Sandwell, Smith, 2009; Sauter, Cannat, 2010): 1 — provincial boundaries; 2 — off-axis traces of transform faults; 3 — suture zone between the lithosphere of the southern boundary and the southeast Indian ridge. (Dubinin et al., 2013). AE — the location of the selected provinces of the ridge. The solid black line shows the position of the spreading axis.

Интернет позволяет существенно дополнить общую картину относительно рассматриваемого района. Так, рисунок магнитных аномалий подтверждает, что клин Родригес развивается как клиновидный спрединговый бассейн без видимых трансформных смещений (рис. 4а).

Начало раскрытия бассейна по линейным магнитным аномалиям датируют 30 млн лет (Sclater et al., 1981). Процесс был инициирован, вероятнее всего, глобальной перестройкой структурного облика Индийского океана, которая происходила ~41 млн лет назад. На основе расчетов остаточных мантийных аномалий Буге, сделано предположение о небольшой мощности коры в данном сегменте хребта: на северном фланге она оценивается в 4 км, а на южном порядка 5–5.5 км (Cannat et al., 2006; Searle et al., 2007).

Абсолютное большинство землетрясений, зафиксированных в данном районе слабые и мелкофокусные (ANSS ..., 2014). Анализ решений фокальных механизмов указывает на преобладание нормальных сбросов, вызванных растягивающими напряжениями (Grand et al., 1997). Пространственное расположение эпицентров землетрясений также подтверждает, что клин Родригес развивается как клиновидный спрединговый бассейн без видимых трансформных смещений (рис. 4б)

Сейсмические данные указывают на наличие в этом районе аномально тонкой коры (Minshall et al., 2006; Minshall, White, 1996; Muller et al., 1999).

Повышенные значения теплового потока в восточной части ЮЗИХ (порядка 70–80 мВт/м<sup>2</sup>) обусловлены как молодостью и небольшой мощностью коры, так и отсутствием охлаждающего эффекта трансформных разломов (Хуторской, Поляк, 2017). Кроме того, для ЮЗИХ характерна геотермическая асимметрия относительно центральной оси. Западный склон и смежная

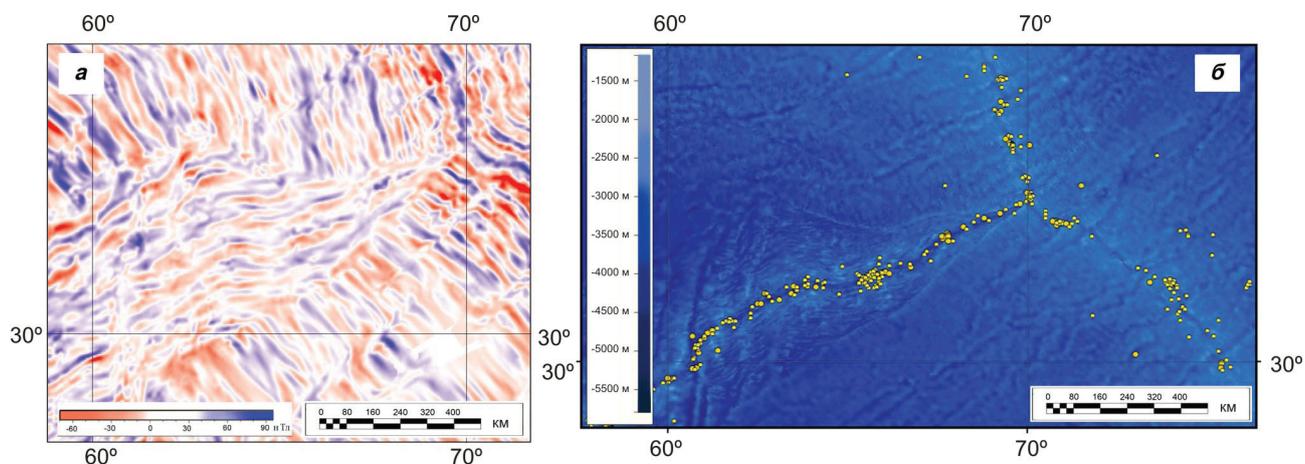
абиссальная котловина характеризуется более высоким тепловым потоком (Хуторской, Тевелева, 2018).

Результаты драгирования показали практически повсеместное распространение в осевой части долины мантийных перидотитов. Это позволяет предполагать, что корообразование здесь идет по сценарию «сухого» спрединга (Dick et al., 2003; Sauter et al., 2004a, 2004b; Seyler et al., 2003). Породы обогащены натрием, относительно перидотитов Центральной Атлантики. (Сушевская и др., 1996; Шрейдер, Кашинцев, 2010). Толеитовый магматизм приобретает наиболее малоглубинный характер (Сушевская и др., 2013). Примечательно также, что состав перидотитов неоднороден, не смотря на отсутствие секущих трансформных разломов. Это может свидетельствовать о изначально различных условиях формирования расплавов вдоль оси клина (Сушевская и др., 2013).

Детальный анализ аномального магнитного поля  $\Delta T_a$  показывает, что раскрытие бассейна шло неравномерно. П. Патрайт с соавторами (Patriat et al., 2008) предположили, что первоначально раздвижение плит с двух сторон клина шло со скоростью ~30 мм/год, а 24 млн лет назад произошло резкое снижение скорости спрединга до 15 мм/год. Важно, что это было не только изменение интенсивности раскрытия, но и перестройка структурного плана, которая сопровождалась изменением ориентации бассейна на угол близкий к 13° (Baines et al., 2007; Dick et al., 1991; Seyler et al., 2005).

#### МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КЛИНА РОДРИГЕС

По батиметрическим данным (GEBCO, 2014), четко видны следующие особенности



**Рис. 4.** Восточный сегмент ЮЗИХ. Аномальное магнитное поле  $\Delta T_a$  (Maus et al., 2008) (а); и расположение эпицентров землетрясений (ANSS, 2014) (б).

**Fig. 4.** The eastern segment of the Southwest Indian Ridge. Anomalous magnetic field  $\Delta T_a$  (Maus et al., 2008) (а); and location of earthquake epicenters (ANSS, 2014) (б).

(рис. 3): клиновидная форма с резкими краевыми уступами; отсутствие трансформных четко выраженных в рельефе смещений; смена ориентации клина в плане; плановая асимметрия клина: с удалением от вершины, северный фланг становится значительно шире южного.

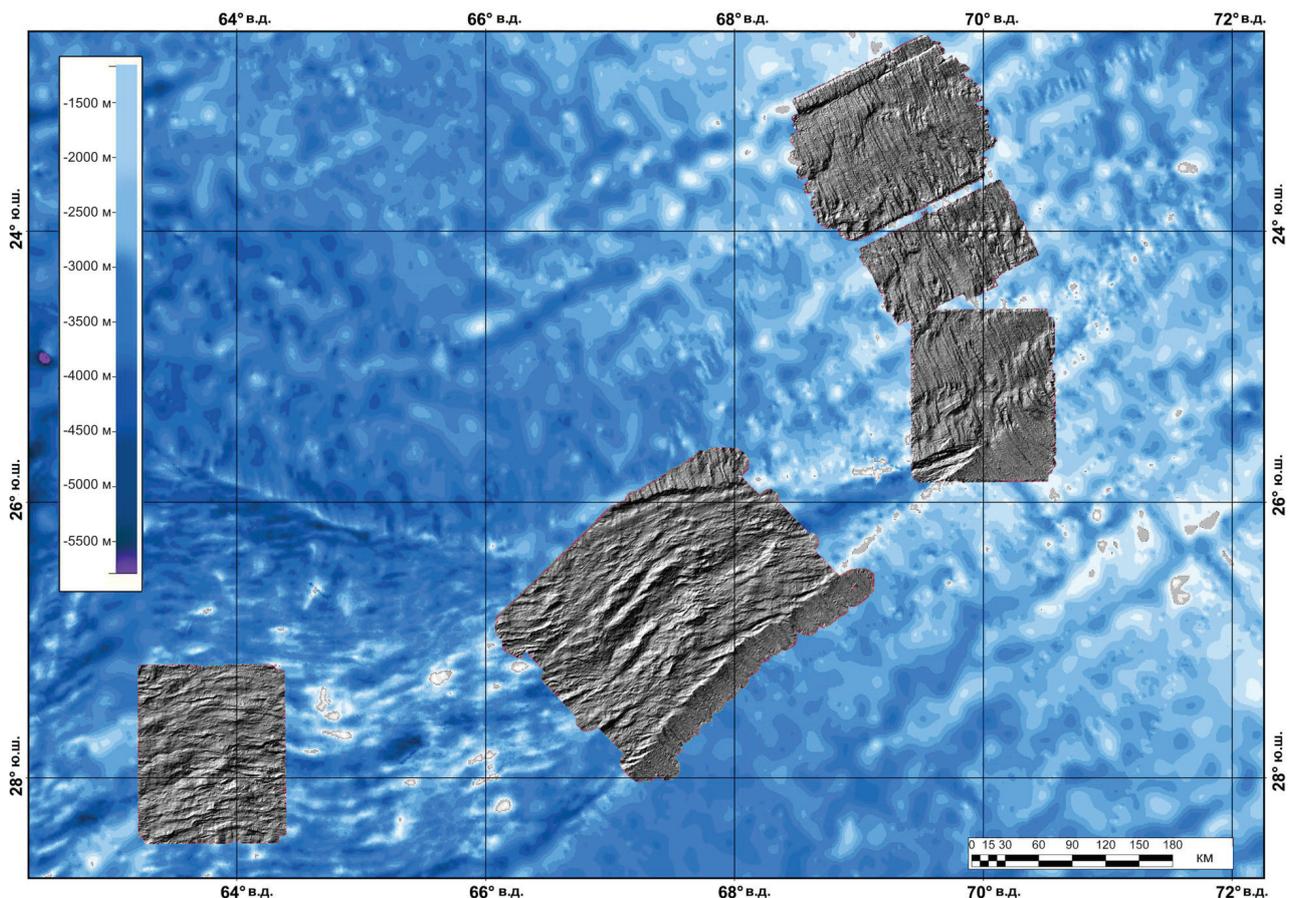
Подробная характеристика морфологических особенностей региона стала возможной благодаря детальной съемке рельефа, проведенной в этом районе коллективом из ГИН РАН на НИС «Академик Николай Страхов» в 2012–2013 гг. (рис. 5). В качестве мелкомасштабной цифровой основы используется 30-секундный грид (GEBCO, 2014). Оттененным рельефом показаны съемочные полигоны.

Рифтовая долина четко выражена в рельефе и представлена системой эшелонированных вытянутых депрессий, разделенных неовулканическими зонами. Поперечный профиль V-образный, с четко выраженными бортами. Глубины достигают 5.7 км (рис. 6). Наблюдается сегментация долины со сменой общей ориентации в пространстве  $\pm 10\text{--}15^\circ$ . Батиметрическая съемка не зафиксировала больших изолированных конусовидных вулканических построек на

участках депрессий. Гребневая зона состоит из крупных блоковых поднятий. Прослеживается симметрия горных массивов южного и северного флангов хребтов. Отдельные вершины достигают высоты 1500 м.

Сводное поднятие асимметрично: северный фланг значительно шире южного (рис. 6). На всей площади поднятия и на флангах в рельефе фиксируется система субширотных трещин. Интересен тот факт, что на неовулканических хребтах в рифтовой долине они практически не наблюдаются. Вероятно трещиноватость еще не успела проявиться на молодых постройках. Спрединг близок к ортогональному и имеет угловое несогласие с трещиноватостью, от  $10^\circ$  до  $30^\circ$ .

Сонарная съемка, проведенная в этом районе французскими исследователями (Cannat et al., 2006) выявила наличие трех типов рельефа: сооружения конусовидной формы, нередко с углублением на вершине, напоминающем кратер, интерпретированные, как подводные вулканы; бугристые поверхности, напоминающие поля торшения (высота отдельных «торосов» достигает 600–800 м) и сглаженные поверхности, для которых был предложен термин «гладкие



**Рис. 5.** Карта оттененного рельефа полигонов 29-го рейса НИС «Академик Николай Страхов». Построена К.О. Добролюбовой, Е.А. Морозом, Ю.А. Зарайской и др. Топооснова — 30-секундный грид GEBCO, 2014.

**Fig. 5.** The shaded relief map of the polygons from the 29th voyage of the R / V «Akademik Nikolai Strakhov». K.O. Dobrolyubova, E.A. Moroz, Yu.A. Zarayskaya and others. Topographic base — 30-second grid GEBCO, 2014.

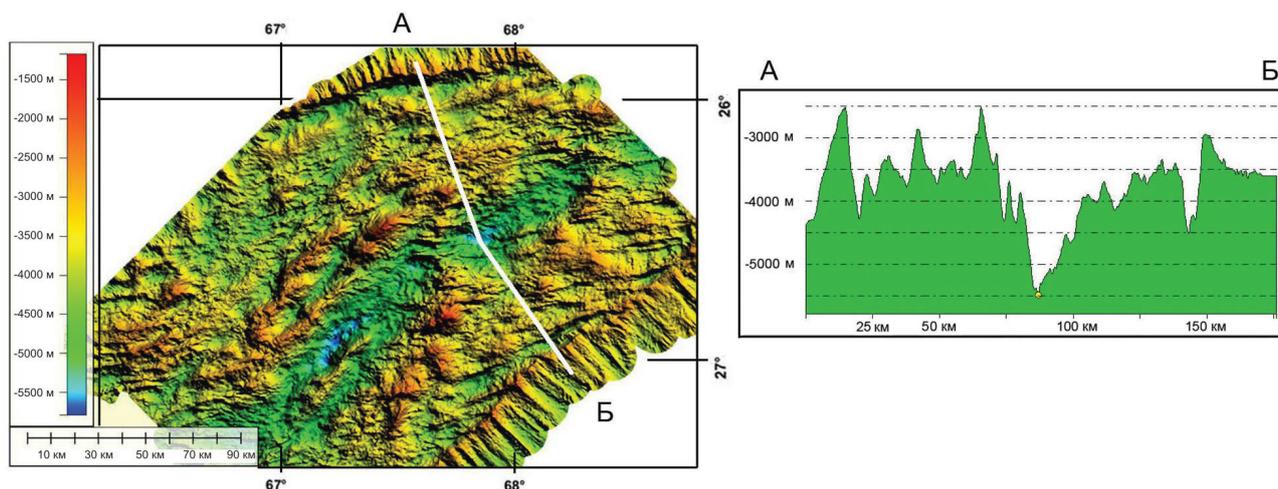


Рис. 6. Восточная часть ЮЗИХ. Карта рельефа и поперечный профиль.

Fig. 6. The eastern part of the Southwest Indian Ridge. Relief map and cross profile.

поверхности», описывающий вдольосевые структуры со сглаженной, скругленной топографией (Cannat et al., 2006).

Клин Родригес с юга и севера отделен от абиссальной котловины четко выраженными в рельефе уступами. Северный уступ имеет субширотное простирание. Превышение над поверхностью клина составляет порядка 1000 м. Несогласие с направлением рифтовой долины доходит местами до 25–30° (рис. 6). Южный уступ имеет более резкие очертания и более крутой и высокий склон (до 1500 м) и сонаправлен рифтовой долине. В поперечном разрезе уступы напоминают квесты: внешние склоны более покатые, четко выраженная бровка и крутые внутренние склоны. При движении вдоль структуры к вершине клина ее высота уменьшается и борт становится все менее и менее вздернутым.

Стенки уступов осложнены вертикальными выступами, которые согласуются с грядами, слагающими дно прилегающей абиссальной равнины. С субширотно ориентированной трещиноватостью краевые уступы сопряжены с четко выраженным азимутальным несогласием. Интересен тот факт, что несогласие не симметрично: на северном борту оно выражено слабо и составляет первые градусы, а вдоль южного борта с удалением от вершины клина увеличивается с 10° до 30°.

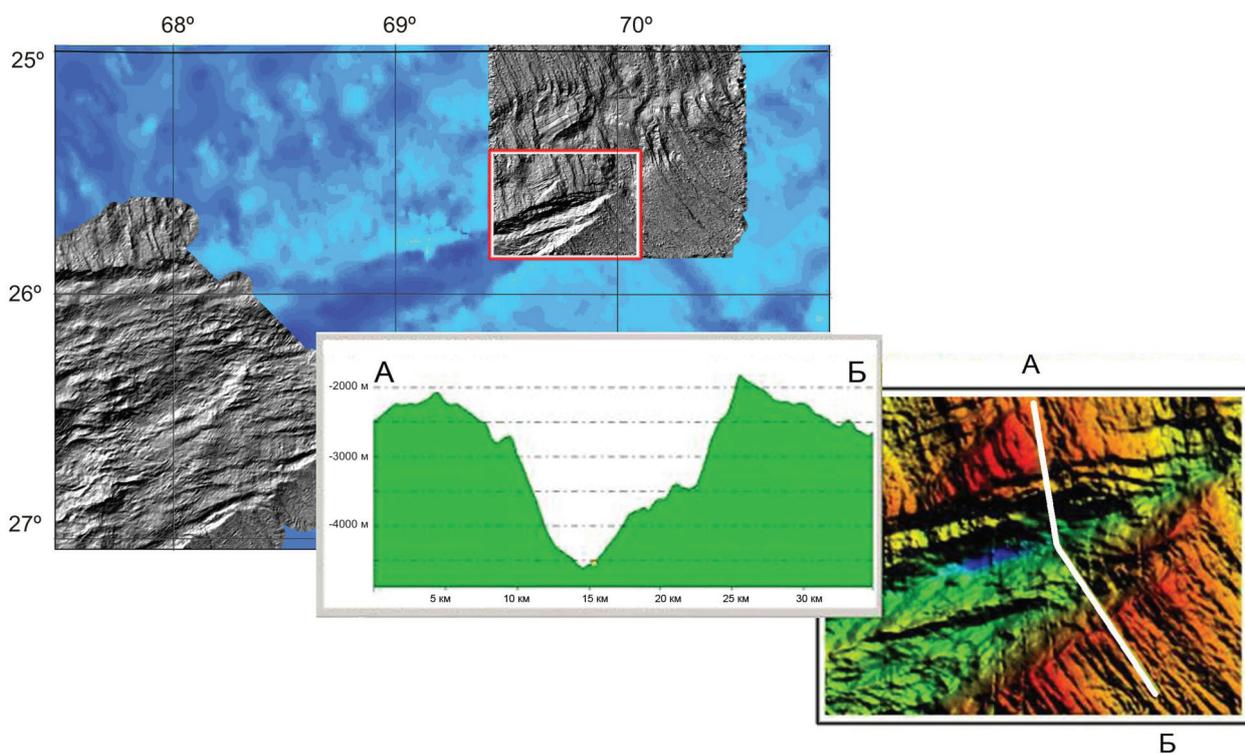
По обоим бортам в рельефе фиксируются значительные депрессии (рис. 6). Вдоль северного борта это относительно выровненная углубленная узкая форма, шириной около 10 км, заглублением 600–800 м, ограниченная с одной стороны крутой стенкой уступа, а с другой стороны системой блоковых горных сооружений. Депрессия вдоль южного борта при сопоставимой ширине заглублена больше ~1000 м и осложнена системой эшелонированных гряд высотой до 800 м, утыкающихся в борт клина с угловым несогласием

порядка 30°. Такой морфологический рисунок позволяет предположить, что расширение клина возможно не только в осевой части, но и вдоль его бортов, так как шовная зона, где сопряжены разновозрастные коровые комплексы, может быть ослабленным местом, по сравнению со структурами сводового поднятия внутри тела клина.

Батиметрическая съемка, проведенная в районе тройного сочленения Родригес, в 29 рейсе НИС «Академик Николай Страхов», зафиксировала наличие нескольких палеовершин, что позволяет утверждать о «рыскании» вершины клина. Это подтверждается построениями, сделанными японскими коллегами (Chie Honsh et al., 1996). Напрашивается вывод о том, что раскрытие клина идет не равномерно, как прогрессирующая трещина на фоне наращивания коры материнского рифта, а скачкообразно с изменением угла и положения структуры в плане. Поперечный профиль долины в привершинной области V-образный, с крутыми склонами, осложненными системой субпараллельных терассированных уступов (рис. 7).

Раздвиг с формированием новой коры, судя по всему, протекает в условиях холодной литосферы, что следует из данных сейсмотомографии (Grand et al., 1997). При этом на месте шовных зон формируются четкие «срезы». Клином разрезает более древнюю кору, выраженную в рельефе системами субпараллельных узких гряд. При этом в днище долины формируется выровненный, сглаженный рельеф.

Особый интерес представляет собой группа их трех кулисообразно расположенных хребтов в районе 67°30' (рис. 8). В отличие от большинства горных сооружений вблизи рифтовой долины, эти формы можно назвать полноценными хребтами. Больше нигде в этом районе нами не было обнаружено таких масштабных объектов. Если предположить, что выплавки новой коры



**Рис. 7.** Рельеф и профиль вкрест простирания долины ЮЗИХ. Район ТСР. Прямоугольник, на карте оттененного рельефа, соответствует врезке в правом нижнем углу рисунка.

**Fig. 7.** Triple junction zone Rodriguez. Relief and profile across the valley of the Southwest Indian Ridge. The rectangle on the shaded relief map corresponds to the inset in the lower right corner of the picture.

равномерны вдоль всей оси клина, то следует искать альтернативный источник, который мог инициировать образование таких массивных тел. Морфологически эти сооружения представляют собой сглаженные хребты северо-западного простирания, длина двух хребтов, расположенных на северном борту рифтовой долины оценивается  $\approx 90$  км при ширине около 10 км. Третий хребет расположен в осевой части рифтовой долины и имеет значительно меньшую длину (50 км) при сопоставимой ширине. В поперечном сечении формы можно считать симметричными, с углами склонов порядка  $18^\circ$ . Данные драгирования, произведенные в этом районе показывают абсолютное преобладание серпентинизированных перидотитов (Dick et al., 2003; Sauter et al., 2004a, 2004b; Seyler et al., 2003). Эти хребты очень напоминают поднятия между  $62^\circ 05'$  в.д. и  $64^\circ 40'$  в.д., описанные французскими коллегами и интерпретированные как эксгумированные блоки серпентинизированных перидотитов (Sauter, 2013). Подобные структуры выделяются в отдельный класс и называются амагматическими хребтами и встречаются во всех ультрамедленноспрединговых хребтах (Dick et al., 2003; Sauter, 2013).

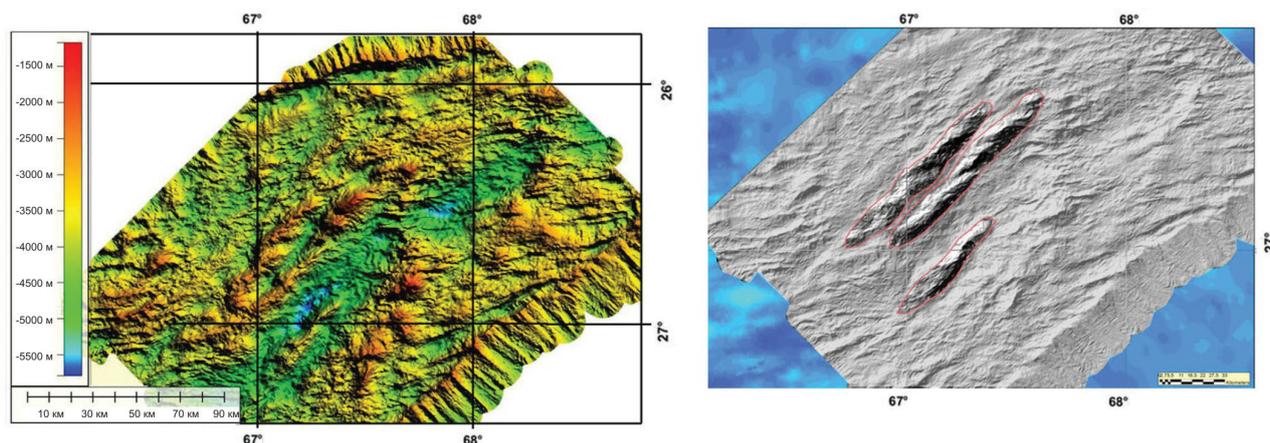
## ОБСУЖДЕНИЕ

Фактические данные, которыми располагает автор, позволяют охарактеризовать клин Родри-

гес как молодое, пассивное, компенсационное образование, возникновение которого инициировано глобальной геодинамической перестройкой структурного плана Индийского океана.

Плановая асимметрия клина (рис. 5) в сочетании с данными о мощности коры (на северном фланге 4 км, а на южном 5.5 км) (Cannat et al., 2006; Searle et al., 2007), позволяет предположить, что северный борт, сопряженный с фланговыми структурами Африкано-Аравийской плиты, активно отворачивает по часовой стрелке, вызывая более интенсивное растяжение и, как следствие, утонение коры в северной части клина. Кроме того, так как имеет место не строгое движение на север, а поворот с центром в вершине клина, можно утверждать, что по мере удаления от вершины клина увеличиваются напряжение и растяжение, что подтверждается данными об увеличении скоростей раскрытия бассейна от точки тройного сочленения в западном направлении (Muller et al., 1999).

Система трещиноватости, зафиксированная в рельефе в границах клина, но не проявленная в пределах рифтовой долины, может свидетельствовать о том, что в активные процессы растяжения вовлечена не только узкая вдольосевая часть структуры с новообразованными коровыми комплексами, но весь клин. Это косвенно подтверждается различиями в морфологии рельефа, формирующегося вдоль краевых уступов:



**Рис. 8.** Рельеф рифтовой долины и карта оттененного рельефа в районе ЮЗИХ. Контуром выделены волю-севые хребты.

**Fig. 8.** The relief of the rift valley and the shaded relief map in the Southwest Indian Ridge area. The axial ridges are highlighted with the contour

с удалением от вершины клина амплитуда увеличивается, что было бы невозможно, если это был «фиксированный отпечаток».

Восточнее ТСР, по батиметрическим данным уверенно фиксируется сопряжение структур южного борта клина и трансформного разлома, с сохранением ориентации в плане. Это наводит на мысль о том, что клин был первоначально заложен по ослабленной зоне трансформного смещения, расположенного в районе стыка Центрально-Индийского и Юго-Восточного Индийского хребтов. А также косвенно подтверждает предположение о том, что активный отворот имеет место севернее точки тройного сочленения при стабильных геодинамических условиях формирования и наращивания коры северо-западной части Юго-Востока Индийского хребта.

## ВЫВОДЫ

Восточный сегмент ЮЗИХ — уникальная структура, представляющая собой компенсационный разрыв, сформировавшийся как отклик на глобальную перестройку, где на фоне ультрамедленного спрединга преобладает режим тектонического растяжения.

Отсутствие трансформных смещений может быть объяснено молодостью структуры, аномально малой мощностью коры, а также ультрамедленными скоростями раскрытия, при которых пространственные напряжения компенсируются локальной трещиноватостью. В плане фиксируется наличие двух систем напряжений: субширотная и сонаправленная рифтовой долине. Первая, вероятно, является отражением растягивающих напряжений глобального порядка. Вторая маркирует локальные процессы растяжения. Четко выражена вдольосевая сегментация ЮЗИХ, отра-

жающая локальные плановые перестройки, которые имели место в процессе раскрытия клина.

Полученные детальные батиметрические данные позволяют сделать предположение о вкладе процессов серпентинизации в формирование макроформ рельефа.

Работа выполнена по теме государственного задания № 0135-2019-0069 Геологического института РАН «Опасные геологические процессы в Мировом океане: связь с геодинамическим состоянием коры и верхней мантии и новейшими движениями».

## Список литературы [References]

- Дубинин Е.П., Кокхан А.В., Сущевская А.М. Тектоника и магматизм ультрамедленных спрединговых хребтов // Геотектоника. 2013. № 3. С. 3–30 [Dubinin E.P., Kokhan A.V., Sushchevskaya N.M. Tectonics and magmatism of ultraslow spreading ridges // Geotectonics. 2013. V. 47. № 3. P. 131–155].
- Пейве А.А. Аккреция океанической коры в условиях косоугольного спрединга // Геотектоника. 2009. № 2. С. 5–19 [Peive A.A. Accretion of Oceanic Crust under Conditions of Oblique Spreading // Geotectonics. 2009. № 2. С. 5–19 (in Russian)].
- Сущевская Н.М., Каменецкий В.С., Беляцкий Б.В., Артамонов А.В. Геохимическая эволюция магматизма Индийского океана // Геохимия. 2013. № 8. С. 663–689 [Sushchevskaya N.M., Kamenetsky V.S., Belyatsky B.V., Artamonov A.V. Geochemical evolution of Indian Ocean basaltic magmatism // Geochemistry International. 2013. V. 51. № 8. P. 599–622].
- Сущевская Н.М., Цехоня Т.И., Дубинин Е.П. и др. Формирование океанской коры в системе срединно-океанических хребтов Индийского океана // Геохимия. 1996. № 10. С. 963–975 [Sushchevskaya N.M., Tsekhonya T.I., Kononkova N.N. et al. Formation of oceanic crust in mid-ocean ridges of the Indian Ocean // Geochemistry International. 1996. V. 34. № 10. С. 869–880].

- Хуторской М.Д., Тевелева Е.А.* Асимметрия теплового потока на срединно-океанических хребтах в Северном и Южном полушариях Земли // *Георесурсы*. 2018. № 2. С. 122–132 [*Khutorskoy M.D., Teveleva E.A.* Heat flow asymmetry on the mid-oceanic ridges of Northern and Southern Earth hemispheres // *Georesursy Georesources* 2018. V. 20. № 2. P. 122–132. <https://doi.org/10.18599/grs.2018.2.122-132> (in Russian)].
- Хуторской М.Д., Поляк Б.Г.* Особенности теплового потока в трансформных разломах северной Атлантики и юго-восточной Пацифики // *Геотектоника*. № 2. 2017. С. 55–66. <https://doi.org/10.7868/S0016853X17010027> [*Khutorskoi M.D., Polyak B.G.* Special features of heat flow in transform faults of the North Atlantic and Southeast Pacific // *Geotectonics*. 2017. V. 51. № 2. P. 152–162. <https://doi.org/10.1134/S0016852117010022>].
- Шрейдер А.А., Кашинцев Г.Л.* Особенности тектоно-магматической эволюции Юго-Западного Индийского срединно-океанического хребта на отрезке 51°–67° в.д. // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 1. С. 121–129 [*Shreider A.A., Kashintsev G.L.* Peculiarities of the tectonic and magma evolution of the southwestern Indian middle-ocean crust within the range of 51°–67° eastern longitude // *Oceanology*. 2010. V. 50. № 1. P. 113–120].
- ANSS Earthquake Composite Catalog. 2014. <http://quake.geo.berkeley.edu/anss/>. выборка 11.02.2014.
- Baines A.G., Cheadle M.J., Dick H.J.B. et al.* Evolution of the Southwest Indian Ridge from 55°45'E to 62°E: Changes in plate-boundary geometry since 26 Ma // *Geochemistry Geophysics Geosystems*. V. 8. 2007. P. 1–31. <https://doi.org/10.1029/2006GC001559>.
- Dic H.J.B., Natlan J.H., Miller D.J. et al.* 1999. Proc. ODP, Init. Repts., 176 (CDROM). Available from: Ocean Drilling Program, Texas A&M University, College Station, TX 77845-9547, U.S.A. [http://www-odp.tamu.edu/publications/176\\_IR/176TOC.HTM](http://www-odp.tamu.edu/publications/176_IR/176TOC.HTM)
- Dick H.J., Lin J., Schouten H.* An ultraslow-spreading class of ocean ridge // *Nature*. 2003. V. 426. P. 405–412.
- Cannat M., Sauter D., Mendel V. et al.* Modes of seafloor generation at a melt-poor ultraslow-spreading ridge // *Geology*. 2006. V. 34. № 7. P. 605–608. <https://doi.org/10.1130/G22486.1>.
- Grand S.P., van der Hilst R.D., Widiyantoro S.* Global seismic Tomography: A snapshot of convection in the Earth // *GSA Today*. 1997. V. 7. № 4. P. 1–7.
- GEBCO 30" Bathymetry Grid. Version 20141103. 2014. (<http://www.gebco.net>).
- Maus S., Barckhausen U., Berkenbosch H. et al.* EMAG2: A 2-arc-minute resolution Earth Magnetic Anomaly Grid compiled from satellite, airborne and marine magnetic measurements // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2009. V. 10. P. 1–12. <https://doi.org/10.1029/2009GC002471>.
- Minshull T.A., Muller M.R., White R.S.* Crustal structure of the Southwest Indian Ridge at 66E: Seismic constraints // *Geophysical Journal International*. 2006. V. 166. P. 135–147. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03001.x>.
- Minshull T.A., White R.S.* Thin crust on the flanks of the slow-spreading Southwest Indian Ridge // *Geophysical Journal International*. 1996. V. 125. P. 139–148.
- Muller M., Minshull T., White R.* Segmentation and melt supply at the Southwest Indian Ridge // *Geology*. 1999. V. 27. P. 867–870.
- Muller R.D., Sdrolias M., Gaina C. et al.* Age, spreading rates, and spreading asymmetry of the world's ocean crust // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2008. V. 9. № 4. P. 1–19. <https://doi.org/10.1029/2007GC001743>.
- Patriat P., Sloan H., Sauter D.* From slow to ultra-slow: A previously undetected event at the Southwest Indian Ridge ca. 24 Ma // *Geology*. 2008. V. 36. P. 207–210. <https://doi.org/10.1130/g24270a.1>.
- Sandwell D., Smith W.* Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: Ridge segmentation versus spreading rate // *JGR*. 2009. V. 114. B01411. 18 p. <https://doi.org/10.1029/2008JB006008>.
- Sauter D., Cannat M.* The ultraslow spreading Southwest Indian ridge. In: Diversity of hydrothermal systems on slow spreading ocean ridges // *Geophysical Monograph Series* 188. 2010. AGU. P. 153–173. <https://doi.org/10.1029/2008GM000843>.
- Sauter D., Cannat M., Rouméjon S. et al.* Continuous exhumation of mantle-derived rocks at the Southwest Indian Ridge for 11 million years // *Nature Geosc.* 2013. V. 6. P. 314–320. <https://doi.org/10.1038/ngeo1771>.
- Sauter D., Carton H., Mendel V., Munsch M. et al.* Ridge segmentation and the magnetic structure of the Southwest Indian Ridge at 55°30'E, 55°30'E and 66°20'E): implications for magmatic processes at ultraslow-spreading centers // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2004a. V. 5. Iss. 5. P. 1–25. <https://doi.org/10.1029/2003GC000581>.
- Sauter D., Mendel V., Rommevaux-Jestin C., Parson L. et al.* Focused magmatism versus amagmatic spreading along the ultra-slow spreading Southwest Indian Ridge: Evidence from TOBI side scan sonar imagery // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2004b. V. 5. Iss. 10. P. 1–20. <https://doi.org/10.1029/2004GC000738>.
- Sclater J.G., Grindlay N.R., Madsen J.A. et al.* Tectonic interpretation of the Andrew Bain transform fault: Southwest Indian Ocean // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2005. V. 6. P. 1–21. <https://doi.org/10.1029/2005GC000951>.
- Sclater J., Fisher R., Patriat P. et al.* Eocene to recent development of the South-west Indian Ridge, a consequence of the evolution of the Indian Ocean Triple Junction // *Geophysical Journal International*. 1981. V. 64. Iss. 3. P. 587–604.
- Searle R., Bralee A.* Asymmetric generation of oceanic crust at the ultra-slow spreading Southwest Indian Ridge, 64E // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2007. V. 8. № 5. P. 1–28. <https://doi.org/10.1029/2006GC001529>.
- Seyler M., Cannat M., Mevel C.* Evidence for major-element heterogeneity in the mantle source of abyssal peridotites from the Southwest Indian Ridge (52° to 68°E) // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2003. V. 4. P. 1–33. <https://doi.org/10.1029/2002GC000305>.

ДОБРОЛЮБОВА

**PECULIARITIES OF MORPHOLOGY AND KINEMATICS  
OF THE EASTERN SEGMENT IN THE SOUTHWESTERN INDIAN RIDGE  
BETWEEN A MELVILLE TRANSFORM FAULT AND  
TRIPLE JUNCTION ZONE RODRIGES**

**K.O. Dobrolyubova**

*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, 119017, Moscow, Russia*

The eastern segment of the Southwest Indian Ridge is a unique wedge-shaped structure. The absence of transform faults in this region is explained by young age, anomalously low crustal power, and ultra slow spreading, at which spatial stresses are compensated by local fracture. The plan shows the presence of two fracture systems: one was probably caused by tensile stresses of global order associated with the movement of lithospheric plates, and the other is an evidence of local stretching processes. The clear longitudinal segmentation of the Southwest Indian Ridge was most likely caused by local planned transformations that occurred during the wedge opening. Compilation of facts obtained during the voyage of the R/V «Akademik Nikolai Strakhov» and literature data allows us to conclude that the opening of the basin most likely follows the scenario of a passive compensatory gap initiated by the global geodynamic restructuring of the structural plan in the Indian Ocean.

*Keywords: wedge-shaped spreading basin, South-West Indian Ridge, triple junction Rodrigues.*