

УДК 551.73/.78

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАРОЖДЕНИЯ И ГЕОДИНАМИКА РАСКРЫТИЯ РИФТОВ КРАСНОГО МОРЯ И АДЕНСКОГО ЗАЛИВА

© 2025 г. В. М. Усова¹, *

¹Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы (РУДН),
д. 6, ул. Миклухо-Маклая, 117198 Москва, Россия

*e-mail: usova-vm@rudn.ru

Поступила в редакцию 31.01.2024 г.

После доработки 19.02.2025 г.

Принята в печать 10.03.2025 г.

В статье приведены результаты исследования, которые позволили выявить тектонические условия зарождения сопряженных между собой под прямым углом позднекайнозойских рифтов завершеного развития Красного моря и Аденского залива, находящихся на разных стадиях океанического раскрытия. Предлагается разработанная автором геодинамическая модель формирования рифта Красного моря, в основу которой заложены представления и поддерживающие их наши аргументы о континентально-нижнекоревой природе высокоплотного основания этого рифта. Приведены палеотектонические реконструкции, подтверждающие предложенную ранее модель дорифтового расположения Аравии у берегов Африки и глубокого вхождения Йеменского угла Аравии в треугольник Афарской депрессии.

Показано, что отрыв и синрифтовое удаление Аравии от Африки произошли в разных и уникальных тектонических обстановках. Рифт Красного моря возник в самой крупной области позднепротерозойской ювенильной коры, выступающей в центральной части Аравийско–Нубийского щита. Рифт Аденского залива образовался во внутренней части крупного периконтинентального осадочного бассейна, что несвойственно для рифтов всех возрастов и типов. Направления рифтового обособления Аравии от Африки были предопределены исторически. Они совпали с границами блоков древней литосферы, испытавших различное тектоническое развитие. Эти геологические границы, относящиеся к глубинным георазделам, были выражены в коровой структуре в форме панафриканских поясов складчатости, имеющих различный возраст и принадлежащих к разным типам.

Ключевые слова: геология, литосферные плиты, геодинамическая модель, палеоконтиненты, рифты Красного моря и Аденского залива, Африканский суперплюм, палеотектонические реконструкции

DOI: 10.31857/S0016853X25010051, EDN: DAUJZ

ВВЕДЕНИЕ

Впадины Красного моря и Аденского залива являются единственными в мире рифтами, которые демонстрируют тектонические обстановки рождения и раннего расширения океанов. Это явилось главной причиной длительного, на протяжении почти ста лет, многопланового изучения этих рифтов научными коллективами и отдельными исследователями многих стран (рис. 1).

Рифт Красного моря имеет сходства по строению, глубине и симметричности структур седиментационной структуры, высокой плотности корового основания с более ранними рифтами завершеного развития, разрушившими Гондвану и определившими многие особенности, возникших на них периконтинентальных нефтегазовых бассейнов. Эти обстоятельства явились дополнительным стимулом для изучения красноморского и аденского рифтов.

Рифт Красного моря представляет собой крупный осадочный бассейн, заполненный континентальными, мелководно-морскими и лагунными отложениями от олигоцена до плиоцена. Его симметричная седиментационная структура состоит из боковых впадин глубиной до 6–7 км в осевых депоцентрах и разделяющего их Центрального поднятия, где толщина осадочного комплекса сокращается до 3–4 км, отчасти, за счет выпадения из разреза более ранних отложений. Вдоль поднятия протягивается Осевая океаническая депрессия шириной 30–40 км [27].

Симметричность рифта Красного моря подчеркивается расположением на одинаковом расстоянии от Осевой океанической депрессии одновозрастных линейных магнитных аномалий, соответствующих дайкам основных пород в фундаменте и нижних горизонтах осадочного комплекса. Такого рода дайки миоцена протяги-

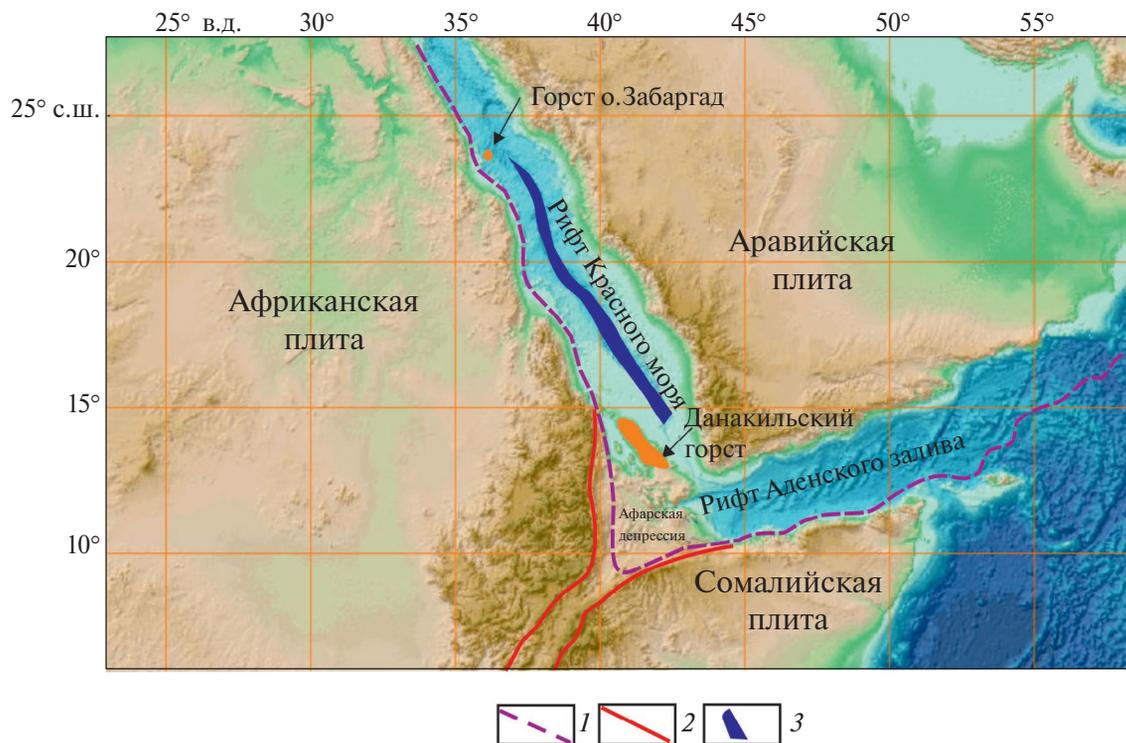


Рис. 1. Положение рифтов Красного моря, Аденского залива и Афарской депрессии (по данным [63], с изменениями и дополнениями).

На схеме: показано (изменение цвета от зеленого до темно-коричневого) увеличение высоты современного рельефа. 1–2 – геологическая граница: 1 – дорифтового палеоположения Аравийской плиты, 2 – Эфиопского рифта на юге и Афарской депрессии; 3 – глубоководная океаническая депрессия Красного моря

ваются на многие сотни километров вдоль восточного края рифта.

По представлениям одних исследователей осадочный комплекс рифта подстилается преимущественно олигоцен–миоценовой океанической корой. Согласно другой точке зрения под Красным морем распространена в разной степени утоненная, высокоплотностная континентальная кора, нарушенная в разной степени зонами разломов [21, 42, 46]. Такая коровая модель предложена также для Афарской вулканической депрессии [16, 46, 54].

Было сделано предположение, что в рифте Красного моря в равной степени присутствует как утоненная континентальная, так и океаническая кора. По одной модели континентальная кора распространена севернее, океаническая кора преобладает южнее 23° с.ш. [21, 23, 38, 39]. По другой модели периферийные континентальные продольные зоны рифта сменяются в направлении к его оси более широкими океаническими зонами [13].

Краевые эпиконтинентальные зоны рифта Аденского залива состоят из эшелонировано расположенных полуграбенов, ограниченных разломами

со стороны материковых областей. Грабены заполнены мелководно-морскими, лагунными и континентальными отложениями олигоцена–миоцена на востоке и миоцена на западе, достигающими мощности 2.5–2.7 км [12, 19, 36]. Возраст наиболее ранних генераций океанической коры Аденского залива также уменьшается в этом же направлении от раннего до позднего миоцена [25, 43].

Цель статьи: выявить, чем было определено взаимно перпендикулярные направления зарождения и раскрытия рифтовых бассейнов Красного моря и Аденского залива; изучить, каким образом были сформированы симметричные структуры внутриконтинентального рифта Красного моря и океаническая структура Аденского залива при удалении Аравии от относительно мало подвижной Африки, т.е. в режиме асимметричной межплитной геодинамики.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Рифты Красного моря и Аденского залива возникли в олигоцене, тектонический механизм определил особенности их строения.

Рифт Красного моря

В осадочном комплексе рифта Красного моря на разных стратиграфических уровнях залегают базальты. Наиболее ранние из них вскрыты скважиной Суакин у побережья Судана в низах разреза олигоцена [27]. В наибольшем количестве базальты присутствуют в разрезе миоцена на Центральном поднятии.

Геофизическими методами установлено, что между Осевой океанической депрессией и прибрежными зонами Красного моря, под осадочным комплексом залегают кристаллическая кора высокой плотности, природа которой пока остается неясной [11].

Континентальная нижнекоревая природа высокоплотного основания рифта Красного моря, полагаем, связана со следующими геологическими особенностями.

- Существенное отличие комплекса континентальных, лагунных, прибрежных и мелководно-морских отложений рифта Красного моря, достигающего мощности 6–7 км, от маломощных глубоководных илов Аденского залива, залегающих на океанических базальтах.

- Наличие контрастных по литолого-фациальному составу отложений олигоцена–миоцена Главной рифтовой долины рифта Красного моря и пестроцветных, металлоносных илов его Осевой депрессии, которые перекрывают океанические базальты.

- Отложения рифта Красного моря, распространенные за пределами Осевого трога, по литолого-фациальному составу и мощности, имеющие значительное сходство с рифтовыми комплексами, залегающими в осадочных бассейнах пассивных окраин на утоненной (растянутой) континентальной (транзитной) коре.

- Эвапориты, подобные миоценовым в Красном море, которые залегают в верхах эпиконтинентальных рифтовых комплексов оффшорных осадочных бассейнов Африки – Мавритано-Сенегальском, Дуала-Криби, Рио-Муни, Габонском, Нижнего Конго, Рувума и Ламу. Нормальная последовательность событий от накопления эвапоритов до начала спрединга морского дна установлена для Данакильской депрессии в Эфиопии [14]. Накопление эвапоритов происходило в полуизолированных внутриконтинентальных морских заливах перед полным разрушением древней литосферы и раскрытием океанов.

Предположение о преимущественно океанической природе коры рифтов Красного моря

неизбежно приводит к двустадийному океанообразованию (олигоценному и плиоценному), разделенному эпохой длительного осадконакопления. Такой геосторический сценарий нигде зафиксирован не был. Отметим, что океаническое раскрытие Аденского залива происходило непрерывно и в аналогичном тектоническом режиме. Однако синхронно с этим, начиная с олигоцена, происходило гипер-растяжение коры Красного моря и формирование гранулитового основания.

Приведенные данные и интерпретации явились основанием считать наиболее обоснованным представление о преимущественно континентальной природе высокоплотной коры рифта Красного моря, подвергшейся процессу максимального растяжения [45].

Рифт Аденского залива

Почти всю часть этого рифта занимает Аденский залив, представляющий собой в тектоническом отношении молодой океан с зародившимся срединно-спрединговым поднятием [25, 43]. До-океаническими в этом рифте являются лишь узкая подводная окраина Аравии и наземная прибрежная зона Рога Африки. Таким образом, рифт Аденского залива представляет собой переходную структуру между внутриконтинентальным рифтом и зрелым океаном при большем значении океанического раскрытия.

Краевые эпиконтинентальные зоны рифта Аденского залива состоят из эшелонированно расположенных полуграбенов, ограниченных разломами со стороны материковых областей. Грабены заполнены мелководно-морскими, лагунными и континентальными отложениями олигоцена–миоцена на востоке и миоцена на западе, достигающими мощности 2.5–2.7 км [12, 19, 36]. Возраст наиболее ранних генераций океанической коры Аденского залива также уменьшается в этом же направлении от раннего до позднего миоцена [25, 43].

Геология прибрежной окраины п-ова Сомали и о-ва Сокотра раскрывает особенности до-океанического развития Аденского рифта. Большой интерес в этом отношении представляет крупный полуграбен Дабан, находящийся в прибрежной зоне северной части п-ова Сомали. В полуграбене Дабан установлены структурные соотношения между отложениями эоцена, олигоцена и миоцена, имеющие важное значение для восстановления пред-океанического развития Аденского рифта [20].

Полуграбен Дабан отделен с юга от докембрийского фундамента разломом. Залегающие в его юж-

ной части отложения олигоцена толщиной 2.5 км структурно согласно перекрывают отложения эоцена и полностью выклиниваются с приближением к Аденскому заливу и здесь круто падающие от него отложения эоцена с резко выраженным несогласием перекрыты полого залегающими отложениями миоцена. Данная особенность структуры полуграбена Дабан свидетельствует о крупном поднятии и глубоком размыве Центральной зоны Аденского рифта перед его океаническим раскрытием в раннем миоцене.

Главные различия до-океанического развития рифтов Красного моря и Аденского залива заключаются в следующем:

- рифт Красного моря сформировался как крупный и глубокий осадочный бассейн с би-симметричной структурой, прогибание которого в интервале олигоцен–плиоцен сопровождалось возрастающим по интенсивности базальтовым магматизмом;

- в плиоцене вдоль оси Центрального поднятия произошел полный разрыв древней литосферы и образовалась глубоководно-океаническая депрессия.

Аденский рифт развивался как система амагматических, сравнительно медленно прогибавшихся грабенов и полуграбенов, при общем раскрытии рифта в олигоцене–миоцене с востока на запад. В этом же направлении в раннем-позднем миоцене, – значительно раньше, чем образовалась осевая океаническая депрессия рифта Красного моря, – происходило расширение возникшего в рифте Аденского залива.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ДОРИФТОВОГО ПАЛЕОПОЛОЖЕНИЯ АРАВИИ

До образования рифта Красного моря и Аденского палео-океана Аравия находилась у берегов Африки и ее Йеменский угол глубоко входил в треугольник Афарской вулканической депрессии [54] (см. рис. 1).

Это представление основывалось на почти идеальном совпадении конфигурации противоположных береговых очертаний Аравии и Африки. Эта палеотектоническая реконструкция была подтверждена корреляцией докембрийских коровых комплексов, вскрывающихся по разные стороны от Аденского залива и Красного моря [15, 61].

Проведенное нами сопоставление докембрийских и залегающих на них осадочных комплексов, распространенных на юге Аравии и на севере Рога

Африки, выявило дополнительные свидетельства дорифтовой максимальной сближенности Аравии и Африки.

На большей части Йемена и Сомали распространены горизонтально или полого залегающие отложения юры, мела, нижнего и среднего эоцена. Однако местами отложения юры под отложениями мела отсутствуют, что связано с их размывом во время предмеловых поднятий. Именно при предполагаемом палео-положении Аравии, т.е. полном закрытии Аденского океана и совмещении противоположных границ Аравии и Рога Африки, достигается прямое совпадение границ областей распространения и отсутствия юрских отложений (рис. 2).

Аналогичным образом, при максимальной сближенности Аравии и Рога Африки достигается совмещение однотипных докембрийских комплексов, обнажающихся на юге Йемена и севере Сомали (рис. 3).

Подобное палео-сочленение при полном закрытии рифта Красного моря было показано для главных комплексов докембрийского фундамента Аравийско–Нубийского щита к востоку и западу от Красного моря [15, 40, 61].

При реконструкции дорифтовой Афро–Аравии восстанавливаются уникальные для рифтообразования тектонические структуры. Для рифта Красного моря это крупнейшая в мире область щитового поднятия протерозойской ювенильной коры, характеризующаяся широким распространением островодужных и офиолитовых комплексов. Для Аденского рифта такой структурой стал крупный периконтинентальный осадочный бассейн, испытывавший прогибание в период начало юры–конец среднего эоцена.

Проведенный анализ геологических данных позволил выявить и другие особенности геологических условий, в которых начался отрыв Аравии от Африки, которые послужили причиной взаимно перпендикулярного расположения рифтов.

При сходстве главных рифейских метаморфических и магматических комплексов, вскрытых на Аравийско–Нубийском щите, к востоку и западу от Красного моря распространены отложения рифея и венда различных фациальных составов и образующих различные структурные формы [13, 49, 51].

В Аравии – это вулканогенно-осадочные толщи серии Мурдама и ее эквиваленты, занимающие обширную площадь, прорванную крупными батолитами гранитов позднего венда повышенной щелочности [48]. В Нубийской части щита к этому

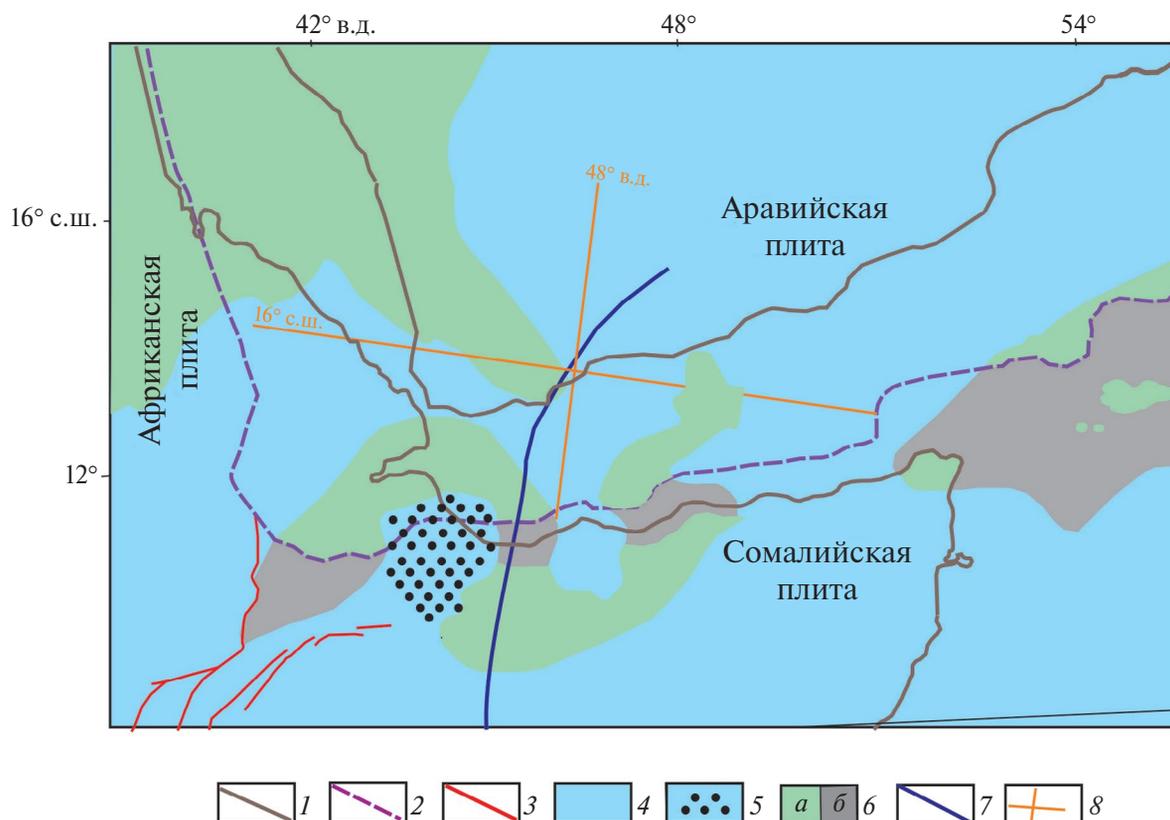


Рис. 2. Палеогеологическая схема распространения отложений палеогена и отложений юры под отложениями мела в областях дорифтового сочленения южной части Аравийской, Африканской и Сомалийской (“Рог Африки”) плит (по данным [6, 7, 20, 31, 34, 36]).

1 – современные границы южной части Аравии и Африки; 2 – палеограницы южной части Аравии (до ее отчленения от Африки); 3 – разломы Афарского и Эфиопского рифтов (поздний кайнозой); 4 – отложения юры; 5 – область горсто-грабеновых структур в отложениях юры и мела; 6 – области отсутствия отложений юры под отложениями мела: а – достоверные, б – предполагаемые; 7 – граница областей отсутствия на западе и распространения на востоке отложений нижнего-среднего эоцена; 8 – условная географическая сетка, привязанная к палеоположению Аравии

возрасту относятся отложения молассового типа серий Хаммамат в Египте и серий Ават в Судане, образующие единичные узкие прогибы. Эти молассы прорваны мелкими интрузиями пост-складчатых щелочных гранитов позднего венда.

На периферии щита на кристаллических комплексах докембрия залегают платформенные отложения разного возраста:

- палеозойские (на востоке);
- меловые (на западе).

Тонкозернистый состав терригенных отложений палеозоя, залегающих на наиболее широкой центральной аравийской части Аравийско-Нубийского щита показывает, что западная граница палеозойского бассейна первоначально проходила в районе современного Красного моря, возможно, – по направлению к рифту Суэцкого залива, в глубинах которого имеются последние на западе “аравийские” отложения палеозоя [57].

Показано, что в палеозое, мезозое и палеогене нубийский блок щита являлся областью внутриплитного щелочного контрастного интрузивного магматизма, происходившего на фоне поднятия этой территории [59, 62]. В пределах аравийской части щита проявления магматизма этого типа и возраста отсутствуют.

Таким образом, от позднего протерозоя до раннего кайнозоя западный и восточный блоки Нубийско-Аравийского щита, разделенные в настоящее время рифтом Красного моря, характеризовались различными режимами тектонического развития. Очевидно, что это должно предполагать существование между этими блоками древней литосферы глубинного раздела, имевшего характер зоны длительно существовавших разломов. Именно вдоль них произошел отрыв Аравии от Африки и зарождение рифта Красного моря.

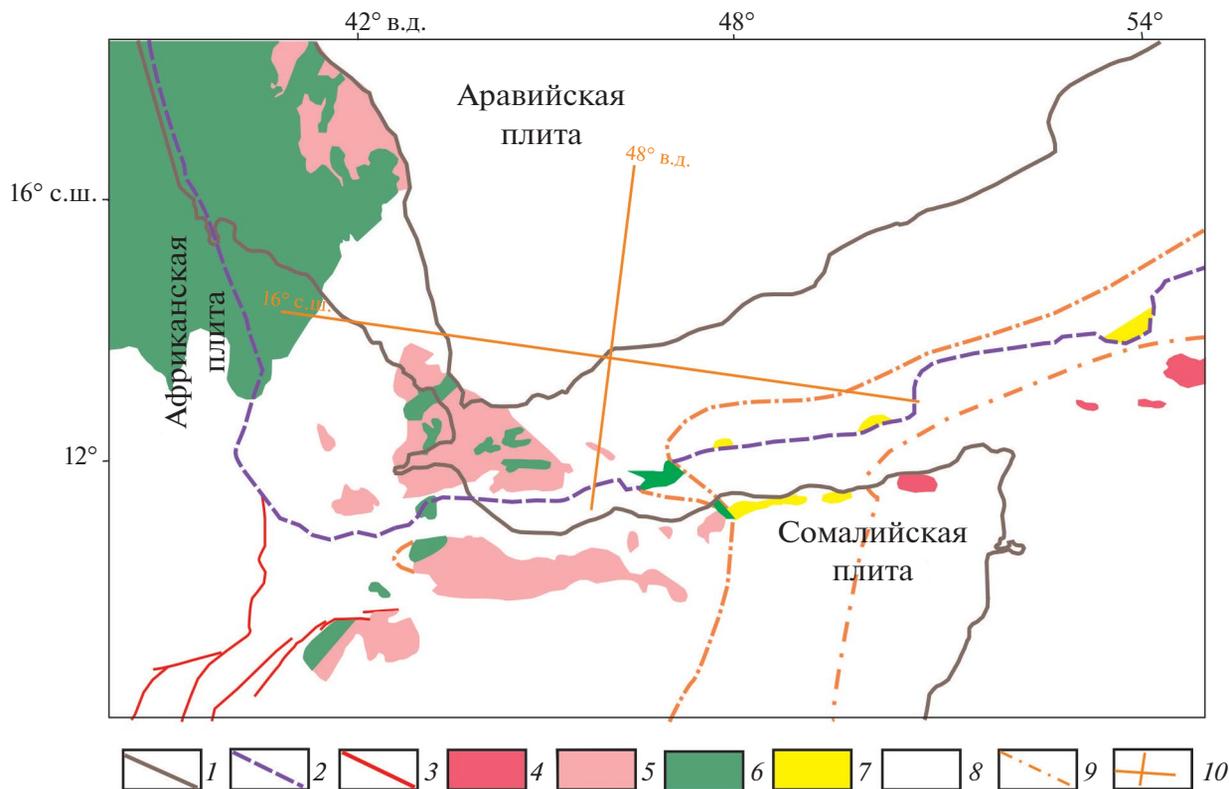


Рис. 3. Палеогеологическая схема распространения комплексов и структур панафриканской коры в областях дорифтового сочленения южной части Аравийской, Африканской и Сомалийской плит (по данным [15, 31, 34]).

1 – современные границы южной части Аравии и Африки; 2 – палеограницы южной части Аравии (до ее отчленения от Африки); 3 – разломы Афарского и Эфиопского рифтов (поздний кайнозой); 4–7 – комплексы панафриканского фундамента: 4 – пород высокого метаморфизма, 5 – гранитогнейсовые, 6 – зеленокаменный вулканогенный, 7 – кварцито-сланцевый; 8 – области распространения осадочных и вулканогенных комплексов фанерозоя; 9 – предполагаемые границы распространения складчатых толщ терминального рифея–венда под осадочными комплексами и в акваториях Аденского залива; 10 – условная географическая сетка, привязанная к палео-положению Аравии

Также имеются основания полагать, что древняя красноморская граница раздела Аравии и Африки была выражена в структуре панафриканской коры. Вдоль береговых зон южной части Красного моря вскрываются наиболее глубокие породы гнейсового ряда пан-африканской коры, характеризующихся реликтивными минералами гранулитовой фации метаморфизма и изотопными датировками архея-раннего протерозоя (рис. 4).

Эти данные позволяют считать, что южная часть рифта Красного моря образовалась вдоль структуры, сложенной ниже-среднекоровыми комплексами. Имеются основания предполагать, что также вдоль подобной коровой структуры образовалась северная часть рифтового комплекса. Это предположение базируется на геологическом строении о. Забаргад, расположенном в северной части Красного моря и имеющем экзотическое положение в структуре рифтового растяжения (см. рис. 1).

На о. Забаргад вскрываются гранулиты, имеющие возраст 700 млн лет, и перекрывающиеся их переслаивающиеся кремнистые известняки, песчаники, черные глинистые сланцы с линзами фосфоритов верхнего мела–палеоцена, эвапориты миоцена, красноцветные известняки плиоцена [18, 22]. Гранулиты о. Забаргад были эксгумированы до позднего мела и, в соответствии с исследованиями геологии Восточной пустыни Египта, – во время или в конце формирования панафриканской коры [57].

Таким образом, по времени вскрытия возраст островных гранулитов является намного более древним, чем нижекоровое основание рифта Красного моря, образовавшееся и вскрытое во время его растяжения в олигоцене–миоцене.

Аномальное положение древних гранулитов блока о. Забаргад по отношению к молодому нижекоровому основанию рифта Красного моря показывает, что этот блок перемещался в соот-

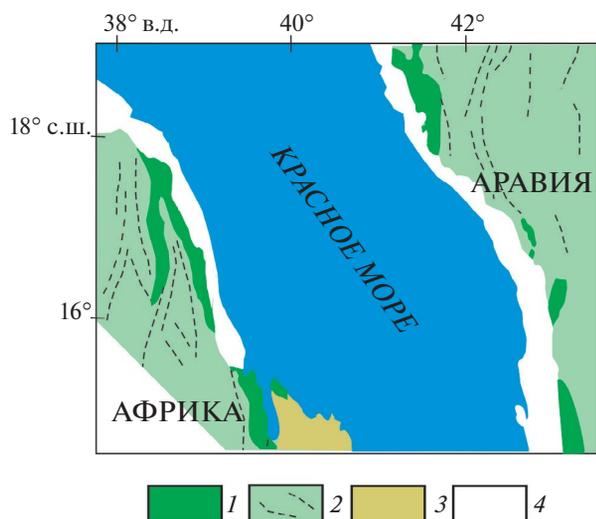


Рис. 4. Главные комплексы и структуры пан-африканской коры в прикрасноморских районах Эритреи, Саудовской Аравии и Йемена.

1–2 комплексы и структуры пан-африканской коры: 1 – гнейсовые, среднекоровые с реликтами нижнекоровых комплексов, син- и посттектоническими габброидами; 2 – гранитно-зеленокаменные, верхнекоровые (пунктиром показаны простирации структур); 3 – вулканические комплексы миоцена северного окончания Данакильской депрессии; 4 – преимущественно плиоцен–четвертичные отложения прибрежных равнин

ветствии с восточным смещением Аравии от западной границы рифта и является, полагаем, фрагментом разрушенного панафриканского гранулитового пояса.

Южная и северная части Красного моря образовались по линейным выступам (поясам) древних ниже-среднекоровых комплексов и по таким условиям зарождения рифта Красного моря обнаруживает сходство с другими одновозрастными и более древними рифтами Африки, образовавшимися по панафриканским гранулитовым поясам [2]. По соотношению со структурами панафриканского фундамента данный рифт обнаруживает большое сходство с более древними рифтами завершённого развития, определившими границу юго-западной Африки (рис. 5).

Сходную тектоническую природу в отношении раскрытия Красного моря имеет Данакильский горст, который отделился от материковой коры Эфиопии в тылу мигрировавшей к востоку Аравии. При возвращении Данакильского горста в его исходное положение, восстанавливается узкий и глубокий юрский осадочный бассейн, располагавшийся вдоль линии отрыва Аравии от Африки. Возможно, этот бассейн также являлся

ослабленной структурой, по которой произошел разрыв панафриканской коры.

Отметим, что сделанное нами предположение о структурных условиях зарождения рифта Красного моря аналогично условиям возникновения Эфиопского рифта, совпадающего, как показано, с древней ослабленной зоной панафриканского фундамента [41].

Следующие геологические данные дают основание считать, что аденское направление рифтообразования также не было случайным. При возвращении Аравии в ее дорифтовое положение восстанавливается существенное различие строения Йеменского и Сомалийского блоков некогда единого юрско–эоценового осадочного бассейна (рис. 6).

Йеменский блок характеризуется большей глубиной и более сложной структурой, выраженной сочетанием линейных прогибов и поднятий. Сомалийский блок менее прогнутый представляет собой структурно выровненное, наклоненное в сторону Индийского океана область осадочного плато.

Такие существенные различия в структуре осадочного чехла северного и южного блоков периконтинентального Йеменско–Сомалийского бассейна свидетельствуют о неравномерном прогибании соответствующих им литосферных плит в течение юры, мела, раннего-среднего палеогена и существовании между плитами раннего-среднего палеогена длительно живущих разломов. Расположение центров раннеюрского базальтоидного магматизма вдоль северной границы Рога Африки указывает на то, что эти разломы имели глубинный характер (рис. 7).

Резкое изменение направления от субмеридионального до широтного поздне-панафриканского складчатого пояса также, вероятно, связано с существованием этих разломов, начиная с конца позднего протерозоя (см. рис. 3).

Раскрытие Аденского рифта по системе древних межплитных разломов началось на востоке в области распространения высоко метаморфизованных пород докембрия, в которую входят (и входили) крайний северо-восточный район Сомали и западный район о. Сокотра (см. рис. 3).

Было показано, что в районе о. Сокотра земная кора характеризуется минимальной толщиной до 16 км, что связывается с ее синрифтовым растяжением [8, 44]. Однако принадлежность древних пород западного района о. Сокотра глубоким уровням земной коры и отсутствие в указанных

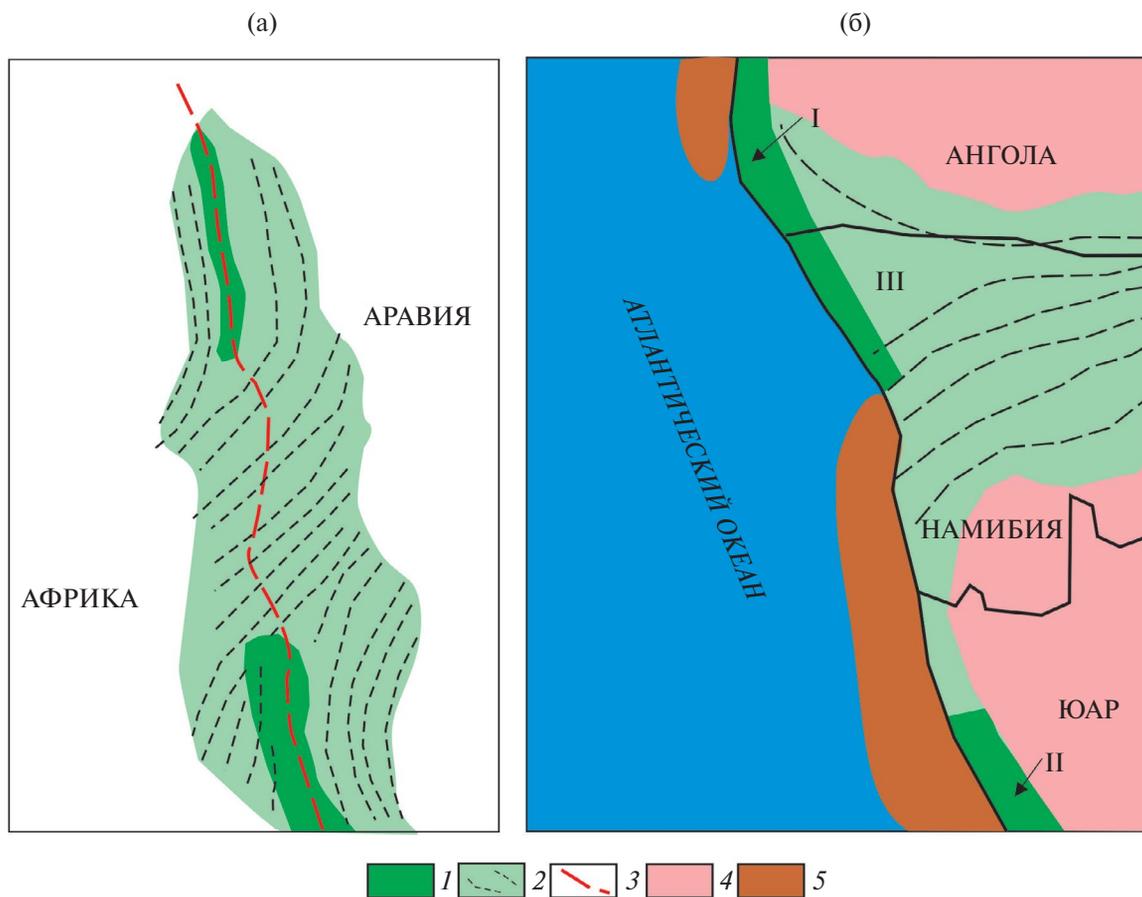


Рис. 5. Схема сходного соотношения зоны Красноморского рифтового отрыва Аравии от Африки (а) и рифтов офшорных бассейнов Юго-Западной Африки (б) с комплексами и структурами пан-Африканской коры.

На схеме показаны (римские цифры) пояса пан-африканской складчатости: I – Коако; II – Гариеп; III – Дамара. I–2 комплексы пан-африканской коры: 1 – нижне-среднекоровые и гнейсовые, 2 – верхнекоровые, гранитно-зеленосланцевые (пунктиром показаны простирания структур); 3 – дорифтовое положение западной границы Аравии, 4 – до пан-африканские кратоны, 5 – рифты перми–готтерива в периконтинентальных бассейнах Юго-Западной Африки

районах под отложениями мела и палеогена отложений юры, дают основания считать, что сокращенная толщина коры в островной части Африки является также результатом ее дорифтовых поднятий и размыва (см. рис. 2).

АСИММЕТРИЧНАЯ ГЕОДИНАМИКА РАСКРЫТИЯ РИФТОВ

Из двух рассматриваемых рифтов только рифт Красного моря обладает почти не нарушенной синседиментационной структурой, что вызывает повышенный интерес к нему для анализа геодинамики преокеанического рифтового развития.

Континентально-нижнекоровая природа высокоплотного основания рифта Красного моря и предельно допустимая дорифтовая сближенность его противоположных границ неизбежно

приводит к необходимости связывать образование данного рифта с растяжением древней литосферы при удалении Аравии от относительно мало подвижной Африки.

Нами разработана палеорекострукция (геодинамическая модель) раскрытия рифта Красного моря, которая моделирует образование симметричной биосевой структуры рифтового бассейна (рис. 8).

Наша геодинамическая модель предполагает смещение к востоку оси растяжения панафриканской литосферы, в том числе – ее нижнекорового слоя, испытывавшего последовательно процессы утонения, эксгумации, уплотнения и прогибания.

С нашей геодинамической моделью раскрытия рифта Красного моря под влиянием мигрирующего к востоку активного фронта возбужденной астеносферы согласуется смещение магматизма

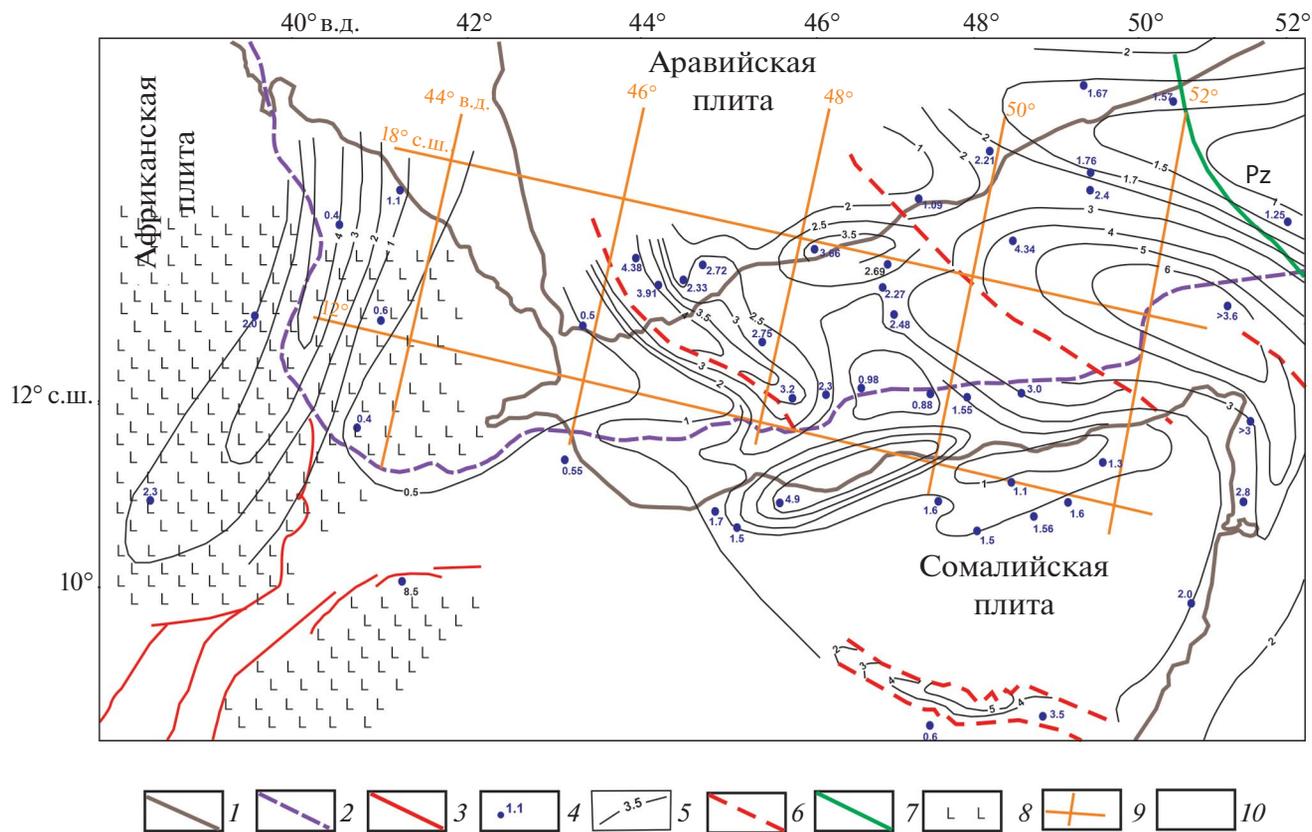


Рис. 6. Палеогеологическая схема распространения структур осадочных мезозоя–палеогена и вулканогенных комплексов палеогена в областях дорифтового сочленения южной части Аравийской, Африканской и Сомалийской плит (по данным [10, 20, 36, 53]).

1 – современные границы южной части Аравии и Африки; 2 – палеограницы южной части Аравии (до ее отчленения от Африки); 3 – разломы Афарского и Эфиопского рифтов (поздний кайнозой); 4 – точки опорных разрезов мезозойского–палеогенового дорифтового осадочного комплекса (мощность, км); 5 – изопакиты осадочного чехла юрско-мелового и палеогенного возраста на востоке и юрского возраста на западе (км); 6 – предполагаемые разломы; 7 – западная граница области распространения отложений палеозоя; 8 – вулканиты палеоцена–эоцена; 9 – условная географическая сетка, привязанная к палеоположению Аравии; 10 – области распространения осадочных и вулканогенных комплексов фанерозоя

в этом направлении. Предрифтовыми проявлениями магматизма к западу от Красного моря являются [32, 57]:

- базальты позднего мела Вади Наташ и палеогенной интрузии щелочных пород Абу Хрук в Восточной пустыни Египта;

- базальты эоцена в пограничных районах Египта и Судана, Эфиопского вулканического плато и прилегающих к нему районов Эритреи.

В рифте Красного моря ранними являются базальты олигоцена, вскрытые скважиной Суакин-1 у берега Судана [31].

Базальты Центрального поднятия рифта Красного моря относятся к раннему-среднему миоцену, как и дайки диабазов, протягивающиеся на многие сотни километров вдоль восточного фланга рифта. К востоку от него распространены

щелочные базальты позднего миоцена, а на большем удалении от Красного моря плиоцена и четвертичного возраста [58].

Предложенная реконструкция геодинамики раскрытия рифта Красного моря дает возможность объяснить причины образования его Осевой океанической депрессии только в центральной части Аравийско–Нубийского щита. Было выявлено влияние на процессы рифтообразования неоднородностей вскрытой на щите ювенильной панафриканской коры [61, 40].

Также было установлено положение наиболее глубокой и широкой части депрессии в районе диагонального пересечения рифтом однонаправленных сутур и крупных систем разломов этой коры [59]. Данное соотношение рифта с панафриканскими структурами может быть следствием

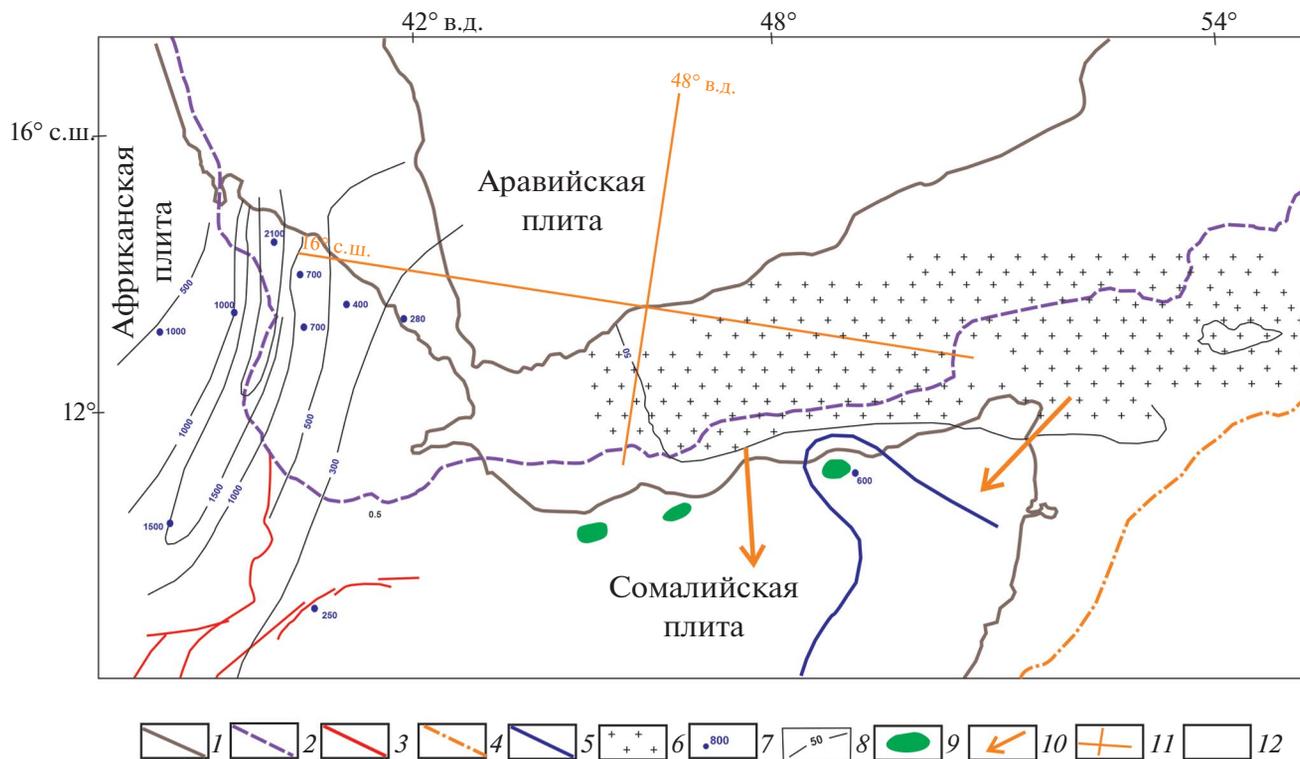


Рис. 7. Палеогеологическая схема области до-рифтового сочленения (ранняя-средняя юра) южной части Аравийской, Африканской и Сомалийской плит (по данным [20, 36]).

1 – современные границы южной части Аравии и Африки; 2 – палео-границы южной части Аравии (до ее отчленения от Африки); 3 – разломы Афарского и Эфиопского рифтов (поздний кайнозой); 4–5 – предполагаемая граница: 4 – восточного распространения отложений (предполагаемых) нижней юры, 5 – морского раннеюрского бассейна Альдо-Мадо; 6 – главная область размыва; 7 – точка опорных разрезов нижней-средней юры (мощность, м); 8 – отложения нижней-средней юры в Западном бассейне (изопахиты, м); 9 – проявления базальтоидного вулканизма; 10 – направление сноса терригенного материала; 11 – условная географическая сетка, привязанная к палео-положению Аравии; 12 – области распространения осадочных и вулканогенных комплексов фанерозоя

различной устойчивости древней литосферы продвигавшемуся к востоку фронта активированной астеносферы.

Сходная модель асимметричной плитной тектоники была предложена для объяснения внутриконтинентальной миграции Аравии к северу от о. Сокотра, представляющего собой офшорную часть Рога Африки, и раскрытие в этом направлении Аденского рифта [33]. Имеются все основания полагать, что в подобном геодинамическом режиме происходило расширение возникшего в рифте океана и образование его симметрично-спрединговой структуры. Однако раскрытие Аденского рифта, а затем – океана в западном направлении, оказало влияние на спрединговые процессы, которые происходили в пределах Индийского океана, и, в частности, – в транзитном хребте Шеба.

Базальты плиоцена распространены на северо-западе Сомали, базальты четвертичного возраста распространены на западе южного побережья

Йемена. Данное обстоятельство может быть интерпретировано как результат послерифтового перемещения в северном направлении магмогенерирующего астеносферного слоя.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Представленная нами геодинамическая модель раскрытия рифта Красного моря и рифта Аденского залива может соответствовать ранней стадии (первой) полного цикла асимметричной (моновергентной) плитной тектоники, которая обусловила в начале гиперрастяжение континентальной коры, а затем расширение молодого океана при однонаправленных течениях астеносферы [29, 23] (см. рис. 8, 1). Показано, что образование рифтов позднего кайнозоя Восточной Африки и Красного моря связано с южным центром Африканского суперплюма [37, 41, 50, 55, 26, 30]. Имеются все основания полагать, что развитие и миграция,

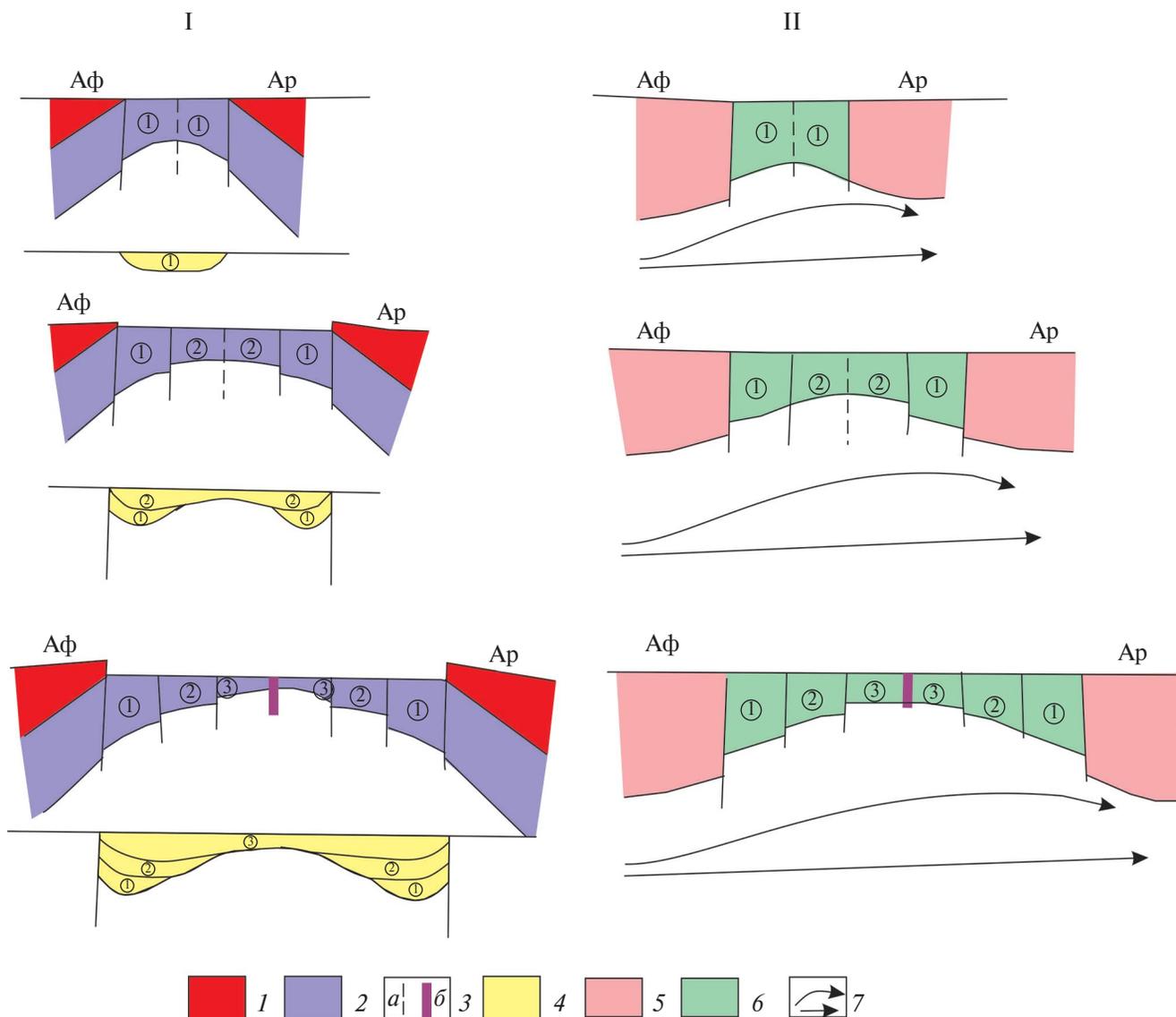


Рис. 8. Геодинамическая модель формирования симметричной структуры рифта Красного моря при асимметричном разобщении Аравийской и Африканской плит.

Последовательность синрифтового утонения: I – растяжение, эксгумация и синседиментационное прогибание нижней панафриканской коры; II – растяжение панафриканской литосферы.

Обозначено: Аф – Африканская литосферная плита, Ар – Аравийская плита.

Показаны (арабские цифры в кружочках) условные стадии растяжения рифтов Красного моря.

1–2 – слой панафриканской коры: 1 – верхний, 2 – нижний; 3 – ось растяжения: а – внутри-плитная, б – меж-плитная (океаническая депрессия); 4 – комплексы рифтовых отложений; 5–6 – панафриканская материковая литосфера: 5 – с гранитно-метаморфическим слоем, 6 – без гранитно-метаморфического слоя; 7 – направление главных потоков астеносферы

начиная с позднего палеозоя, – к северу от Южной Африки более древних внутригондванских рифтов также обусловлены функционированием этого плюмового центра. Существует мнение, что второй плюмовый центр находится на западе Африки [62] и, начиная с триаса до конца раннего мела, именно от него происходила миграция рифтов к востоку – в Центральную Африку.

Предположение об устойчивости плюмовых источников в течение позднего фанерозоя дает аргументы в пользу того, что развитие внутригондванских рифтов происходило в том же геодинамическом режиме, что и представленное нашей моделью развитие рифта Красного моря, т.е. в условиях асимметричной плитной тектоники. Последнее предполагает удаление периферийных материков

Гондваны от относительно мало подвижной Африки, подобно внутриконтинентальному рифтовому и раннеокеаническому разобщению с ней Аравии.

Согласно данным сейсмотомографии, Африканский суперплюм прослеживается под Центральной Атлантикой через бескорневой срединный хребет до восточной окраины Северной Америки [3] и определил асимметричное раскрытие океана, обеспечил при этом создание симметричной структуры его дна.

Можно полагать, что синрифтовое смещение Аравии демонстрирует сценарий удаления периферийных материков Гондваны от относительно мало подвижной Африки. При такой геодинамической аналогии Красного моря и Данакильским горстом Афарской депрессии могут сопоставляться микроконтиненты Мадагаскара, Сейшельского плато, также отделившееся от Африки в том же восточном направлении при уже широкооткрытом Индийском океане.

Вторая стадия обеспечивала миграцию процессов рифтообразования (см. рис. 8, II).

Рифты Красного моря и Аденского залива образовались в заключительную (третью) стадию внутригондванского рифтинга, начавшегося в конце палеозоя—триасе по периферии Южного (действующего) и Западного (угасшего) Африканских суперплюмов и мигрировавшего от них соответственно в северном и восточном направлениях (см. рис. 8, III).

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования автором сделаны следующие выводы.

1. Разработанные палеогеологические реконструкции области предполагаемого дорифтового сочленения юга Аравии и близрасположенных районов Африки подтвердили представление об их прежней максимальной сближенности.

2. Высокоплотностное основание рифта Красного моря имеет континентально-нижнекоровую природу и было образовано в результате растяжения древней литосферы Афро—Аравии, начавшегося на западе от панафриканских поясов ниже-среднекоровых комплексов.

3. Рифтовый отрыв Аравии от Африки по красноморскому и аденскому направлениям произошел по границам территории, которые характеризуются неравномерным длительным развитием и совпадающими с этими границами поясами разноглубинными коровыми комплексами.

4. Предложена геодинамическая модель раскрытия рифта Красного моря, предполагающая миграцию к востоку вслед за Аравией оси растяжения древней литосферы и ее нижней коры и объясняющая образование при этом симметричной структуры рифта. Приведены общие закономерности древнего внутригондванского и молодого красноморско—аденского рифтообразования.

Благодарности. Автор выражает благодарность проф. Е.А. Долгинову (РУДН, г. Москва, Россия) за полезные советы и обсуждение рукописи. Автор признателен рецензенту проф. Л.В. Эппельбауму (Тель-Авивский университет, г. Тель-Авив, Израиль) и анонимному рецензенту за полезные комментарии. Автор благодарна редактору М.Н. Шуплецову (ГИН РАН, г. Москва, Россия) за тщательное редактирование.

Финансирование. Проведенное исследование не имело финансирования.

Конфликт интересов. Автор заявляет, что не имеет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгинов Е.А. К проблеме происхождения океанов // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1979. С. 3—21.
2. Долгинов Е.А., Д'Альмейда Ж.Ф. Соотношение рифтов позднего фанерозоя со структурами докембрийского фундамента Аравийско-Африканской платформы // Геотектоника. 2002. № 5. С. 23—31.
3. Соколов С.Ю., Добролюбова К.О., Турко Н.Н. Связь поверхностных геолого-геофизических характеристик с глубинным строением Срединно-Атлантического хребта по данным сейсмической томографии // Геотектоника. 2022. № 2. С. 3—20.
4. Усова В.М. Закономерности и геосторические предпосылки нефтегазовой специализации рифтогенных осадочных бассейнов Африки // Вестн. РУДН. Сер.: Инженерн. иссл. 2022. Т. 23. С. 254—262.
5. Эппельбаум Л.В., Бен-Аврахам Ц., Кац Ю.И., Клотинг С., Кабан М.К. Гигантская квази-кольцевая мантийная структура в зоне Африкано—Аравийского сочленения: данные комплекса геологических и геофизических исследований // Геотектоника. 2021. № 1. С. 66—93.
6. Abbate E., Saggi M., Sassi F.P. Geological Map of Somalia. — Scale 1:500 000. — (Somali National University and Ministry of Mineral and Water Resources, Mogadishu, 1994).
7. Abbate E., Ficarelli G., Pirini R.C., Salvietti A., Torre D., Turi A. Jurassic sequence from the Somali coast of the Gulf of Aden // Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia. 1974. Vol. 80. No. 3. P. 409—478.
8. Ahmed A., Leroy S., Keir D., Korostev F., Khanbari K., Rolandone F., Stuart G., Obrebski M. Crustal structure of the Gulf of Aden southern margin: Evidence from receiver

- functions on Socotra Island (Yemen) // *Tectonophysics*. 2014. Vol. 637. No. 10. P. 251–267.
9. *Almalki K.A., Betts P.G., Ailleres L.* The Red Sea – 50 years of geological and geophysical research // *Earth-Sci. Rev.* 2015. Vol. 147. P. 109–140.
 10. *As-Saruri M.* Geological Map of Yemen (with cross sections). – Scale 1:250 000 – Republic of Yemen. – (Ministry of Oil and Minerals – Yemen Stratigraphic Commission. 2005).
 11. *Augustin N., van der Zwan F.M., Brausdottir B.* 13 Million years of seafloor spreading throughout the Red Sea Basin // *Nature Communications*. 2021. Vol. 12. P. 1–10.
 12. *Autin J., Bellahsen N., Leroy S., Husson L., Beslier M.O., d’Acremont E.* The role of structural inheritance in oblique rifting: insights from analogue models and application to the Gulf of Aden // *Tectonophysics*. 2013. Vol. 607. P. 51–64.
 13. *Bamousa A.O.* Complex Tectonic History of Al-Yutamah Dome area within Hijaz terrane, Arabian Shield, South of Al Madinah, Saudi Arabia // *Open Geology*. 2013. No. 7. P. 45–53.
 14. *Bastow J.D.* The development of late-stage continental breakup: Seismic reflection and borehole evidence from the Danakil depression, Ethiopia // *Tectonics*. 2018. Vol. 37. P. 2848–2862.
 15. *Beydoun Z.R.* Southern Arabia and northern Somalia: Comparative geology // *Philos. Transact. Royal Soc. London. Ser. A: Mathem. Phys. Sci.* 1970. Vol. 267. P. 267–292.
 16. *Beyne A., Abdel Salam M.G.* Tectonics of the Afar depression: A review and synthesis // *J. Afr. Earth Sci.* 2005. Vol. 41. No. 1–2. P. 41–59. Doi: doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2005.03.003
 17. *Bollino A., Regorda A., Sabadini R., Marotta A.M., Restelli F.* From rifting to oceanization in the Gulf of Aden: Insights from 2D numerical models // *Tectonophysics*. 2022. Vol. 838. P. 859–901.
 18. *Bonatti E., Cipriani A., Lupi L.* The Red Sea: birth of an ocean. – In: *The Red Sea*. – (Springer, Berlin–Heidelberg, Germany. 2015). P. 29–44.
 19. *Bonatti E., Clocchiatti R., Colantoni P. et al.* Zabargad (St. John’s) Island: An uplifted fragment of the sub-Red Sea lithosphere // *J. Geol. Soc.* 2015. Vol. 140. P. 677–690.
 20. *Bosellini A.* The continental margins of Somalia and their structural evolution and sediments stratigraphy // *Mem. Sci. Geol. Padova*. 1989. Vol. XLI. P. 373–458.
 21. *Bosworth W.* Geological evolution of the Red Sea historical background, review and synthesis. – In: *The Red Sea*. – Ed. by N.M.A. Rasul, I.C.F. Stewart, (Springer, NY, USA. 2015. Ch. 3). P. 45–78.
 22. *Brueckner H., Mervet A., Elhaddad A., Hamelin B., Hemming S., Kröner A., Reisberg L., Seyler M.* A Pan African origin and uplift for the gneisses and peridotites of Zabargad Island, the Red Sea: A Nd, Sr, Pb, and Os isotope study // *J. Geophys. Res.* 1995. P. 22283–22297.
 23. *Chalot-Prat F., D’Eyrames E.* An alternative model of plate tectonics // *Proc. Open Univ. Geol. Soc.* 2018. Vol. 4. P. 101–104.
 24. *Cochran J.R., Martinez F.* Evidence from the northern Red Sea on the transition from continental to oceanic rifting // *Tectonophysics*. 1988. Vol. 153. P. 25–53.
 25. *D’Acremont E., Leroy S., Beslier M.-O., Bellahsen N., Fournier M., Robin C., Maitha N.M., Gente P.* Structure and evolution of the eastern Gulf of Aden conjugate margins from seismic reflection data // *Geophys. J. Int.* 2005. Vol. 160. P. 869–890.
 26. *Davis P.M., Slack P.D.* The uppermost mantle beneath the Kenya dome and relation to melting, rifting and uplift in East Africa // *Geophys. Res. Lett.* 2002. Vol. 29. No. 7. P. 1–4.
 27. *D’Almeida G.A.F.* Structural evolution history of the Red Sea rift // *Geotectonics*. 2010. Vol. 44. No. 3. P. 271–282.
 28. *Delauney A., Baby G., Fedorik J., Affifi A.M., Tapponier P., Dymont J.* Structure and morphology of the Red Sea, from the mid-ocean ridge to the ocean-continent boundary // *Tectonophysics*. 2023. Vol. 849. Art. 229728. Doi: 10.1016/j.tecto.2023.229728
 29. *Doglioni C., Carminati E., Bonatti E.* Rift asymmetry and continental uplift // *Tectonics*. 2009. Vol. 22. Is. 3. P. 1024–1037.
 30. *Dobre C., Déprez A., Masson F., Socquet A. et al.* Current deformation in Central Afar and triple junction kinematics deduced from GPS and InSAR measurements // *Geophys. J. Int.* 2017. Vol. 208. P. 936–953.
 31. *Eiman M.I. Abd Elkareem, Walid R. Osman, Angus J. Ferguson, John K. Warren, Nuha E. Mohamed.* New Evidence of the Holokinetic Sequences around Suakin-1 and -2 in the Sudanese Red Sea Area Using Integrated Geophysical Interpretation // *Int. J. Geosci.* 2022. Vol. 13. No. 6. Doi: 10.4236/ijg.2022.136026
 32. *Fantozzi P.L., Alikassim M.* Geological mapping in northeastern Somali (Midjurtinia region): Field evidence of the structural and paleographic evolution of the northern plate // *J. Afr. Earth Sci.* 2002. Vol. 34. P. 21–55.
 33. *Franz G., Puchelt N., Pasteels Y.P.* Petrology, geochemistry and age relations of Triassic and Tertiary volcanic rocks from SW Egypt and NW Sudan // *J. Afr. Earth Sci.* 1987. Vol. 6. Is. 3. P. 335–352.
 34. *Fournier M.* Segmentation and along-strike asymmetry of the passive margin in Socotra, eastern Gulf of Aden: Are they controlled by detachment faults? // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2007. Vol. 8. No. 3. P. 1–17. Doi: 10.1029/2006GC001526
 35. *Geological Map of Yemen. – Western Sheet. – Scale 1:1 000 000. – (Natural Resour. Project SAN-AA, Republic of Yemen. 1990).*
 36. *Girdler R.W., Underwaid M.* The evolution of early oceanic lithosphere in the Southern Red Sea // *Tectonophysics*. 1965. Vol. 116. P. 95–108.
 37. *Haitham F.M.S., Nani A.S.O.* The Gulf of Aden Rift: Hydrocarbon potential of the Arabian sector // *J. Petrol. Geol.* 1990. Vol. 13. No. 3. P. 211–220.
 38. *Hansen S.* Mantle structure beneath Africa and Arabia from adaptively parameterized *P*-wave tomography: Implications for the origin of Cenozoic Afro-Arabian tectonism // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2012. Vol. 319–320. P. 23–34.
 39. *Issachar R., Ebbing J., Dilixiati Y.* New magnetic anomaly map for the Red Sea reveals transtensional structures

- associated with rotational rifting // *Sci. Rep.* 2022. Vol. 12. Art. 5757. Doi:10.1038/s41598-022-09770-0
40. *Issachar R., Gomez-Garcia A.M., Ebbing J.* Lithospheric structure of the Red Sea based on 3D density modeling: A contrasting rift architecture // *J. Geophys. Res.: Solid Earth.* 2023. Vol. 128. P. 1–20.
 41. *Johnson P., Stern R., Pease V., Halverson G., Kusky T.* Volcano-sedimentary basins in the Arabian–Nubian Shield: Markers of repeated exhumation and denudation in the Neoproterozoic accretionary orogen // *Geosciences.* 2013. Vol. 3. P. 389–445.
 42. *Kendall J.-M., Pilidou S., Keir D., Bastow I.D.* Mantle upwellings, melt migration and the rifting of Africa: Insights from seismic anisotropy. – In: *The Afar Volcanic Province Within the East African Rift System.* – Ed. by G. Yirgu, C.J. Ebinger, P.K.H. Maguire, (Geol. Soc. London. UK. 2006. Vol. 259). P. 55–72.
 43. *Khrepy S. El, Koulakov I., Gerya T., Al-Arifi N., Alajmi M.S., Ayman N. Qadrou.* Transition from continental rifting to oceanic spreading in the northern Red Sea area // *Sci. Rep.* 2021. Vol. 11. Art. 5594. Doi: 10.1038/s41598-021-84952-w
 44. *Leroy S., Lucazeau F., d’Acremont E., Watremez L., Autin J., Rouzo S. et al.* Contrasted styles of rifting in the eastern Gulf of Aden // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2010. Vol. 11. P. 1525–2027.
 45. *Leroy S., Gente P., Fournier M., d’Acremont E., Patriat P. et al.* From rifting to spreading in the eastern Gulf of Aden: A geophysical survey of a young oceanic basin from margin to margin. – In: *Lithosphere Dynamics and Sedimentary Basins: The Arabian Plate and Analogues.* – Ed. by Kh. A. Hosani, F. Roure, R. Ellison, S. Lokier, (Conf. Proc. ILP Workshop, Abu Dhabi, UAE. – Springer, NY, USA. 2013). P. 385–427.
 46. *Magoarou C., Hirsch K., Fleuty C., Martin R.* Integration of gravity, magnetic, and seismic data for subsalt modeling in the Northern Red Sea // *Interpretation,* 2021. Vol. 9. No. 2. P. 1–37. Doi: 10.1190/int-2019-0232.1
 47. *Makris J., Ginzburg A.* The Afar Depression: transition between continental rifting and sea-floor spreading // *Tectonophysics.* 1987. Vol. 141. P. 199–214.
 48. *Masalu D.C.P.* Mapping absolute migration of global mid-ocean ridges since 80 Ma to Present // *J. Earth, Planets and Space.* 2007. Vol. 59. P. 1061–1066.
 49. *Mitchell N., Preine J., Okwokwo O.I., Izzeldin A.Y.* The ocean–continent transition zone in the Western Central Red Sea // *J. Afr. Earth Sci.* 2023. Vol. 208. Art. 105093. Doi: 10.1016/j.jafrearsci.2023.105093
 50. *Nehling P., Fawzia F., Antonin G.* Aermagnetic map constrains cratonization of the Arabian Shield // *Terra Nova.* 2001. Vol. 13. No. 5. P. 347–353.
 51. *O’Connor J.M., Jokat W., Regelous M., Kuiper K., Miggins D., Koppers A.* Superplume mantle tracked isotopically the length of Africa from the Indian Ocean to the Red Sea // *J. Geol. and Environ. Sci.* 2019. Vol. 10. Art. 5493. Doi: 10.1038/s41467-019-13181-7
 52. *Osman A.F., Fowler A.-R.* Terrane accretion within the Arabian–Nubian Shield. – In: *The Geology of the Arabian–Nubian Shield.* – (Springer, NY, USA. 2021). P. 221–266.
 53. *Priestley K., McKenzie D., Debayle É., Pilidou S.* The African upper mantle and its relationship to tectonics and surface geology // *Geophys. J. Int.* 2008. Vol. 175. P. 1108–1126.
 54. *Richardson S.M., Bott W.F., Smith B.A., Hollar W.D., Birmingham P.M.* A new hydrocarbon “play” area offshore Socotra island, Republic of Yemen // *J. Petrol. Geol.* 1995. Vol. 18. No. 1. P. 5–28.
 55. *Rime V., Foubert A., Ruch J., Kidane T.* Tectonostratigraphic evolution and significance of the Afar Depression // *Earth-Sci. Rev.* 2023. Vol. 244. Art. 104519. Doi: 10.1016/j.earscirev.2023.104519
 56. *Ring U.* Tectonic dynamics in the African rift valley and climate change // *Climate Sci. (Oxford Res. Encyclopedia of Climate Sci.).* 2018. (Publ. on-line Jan. 24, 2018). Doi: 10.1093/acrefore/9780190228620.013.524
 57. *Saada S.A., Mickus K., Eldosouky A.M., Ibrahim A.* Insights on the tectonic styles of the Red Sea rift using gravity and magnetic data // *Marin. Petrol. Geol.* 2021. Doi: 10.1016/j.marpetgeo.2021.105253
 58. *Said R.* The Geology of Egypt. – (Brookfield, Rotterdam, the Netherlands. 1990). 729 p.
 59. *Saleh G.M., Mohamed S. Kamar, Mira H.I.* Phanerozoic minor volcanics and intrusives of the Arabian–Nubian Shield. – In: *The Geology of the Arabian–Nubian Shield.* – (Springer, NY, USA, Book Ser.: Region. Geol. Rev., 2021). P. 687–736
 60. *Schandelmeier H., Reynolds P.O., Kürster D.* Spatial and temporal relationship between alkaline magmatism and early rifting in north/central Sudan // *Geosci. Res. Northeast Africa.* 2017. P. 221–225.
 61. *Senkaus A., Leroy S., Castilla R. et al.* Polyphase rifting and break-up of the Central Mozambique margin // *Marin. Petrol. Geol.* 2019. Vol. 100. P. 412–433.
 62. *Stern R.J., Johnson P.R.* Constraining the opening of the Red Sea: Evidence from the Neoproterozoic margins and Cenozoic magmatism for a volcanic rifted margin. – In: *Geological Setting, Paleo-Environment and Archaeology of the Red Sea.* – (Springer Int. Publ., NY, USA. 2019). P. 53–78. Doi: 10.1007/978-3-319-99408-6_4
 63. *Wilson M., Guiraud R., Morean C., Bellon Y.Y.-C.* Late Permian to Recent magmatic activity on the African–Arabian margin of Thethys. – In: *Petroleum Geology of North Africa.* – (Geol. Soc. London. Spec. Publ. 1998. Is. 132). P. 231–263.
 64. GEBCO. URL: <https://www.gebco.net> (Accessed January, 2024).

Tectonic Conditions of Origin and Geodynamic Setting of Opening of the Rifts of the Red Sea and the Gulf of Adena

V. M. Usova^{a, *}

*^aFederal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “RUDN University”,
bld. 6, Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow, Russia*

**e-mail: usova-vm@rudn.ru*

The article presents results of the study that identifies tectonic conditions responsible for the origin of the Late Cenozoic rifts of the final stage of the development of the Red Sea and the Gulf of Aden. The rifts, connected at the right angle, had different stages of oceanic opening. We propose a geodynamic model of the Red Sea rift formation, based on data on the continental-lower crustal nature of the high-density basement of this rift. Our Paleotectonic reconstructions support the previous model of the pre-rift location of Arabia near the “shores” of Africa and the deep entry of the Yemen “Corner” of Arabia into the “Triangle” of the Afar Depression. The separation and syn-rift removal of Arabia from Africa occurred in different and unique tectonic settings, is shown. The Red Sea Rift originated in the largest area of the Late Proterozoic juvenile crust protruding in the central part of the Arabian–Nubian Shield. In contrast, the Gulf of Aden Rift formed within a large pericontinental sedimentary basin, which is unusual for rifts of all ages and types. The directions of the rift separation Arabia from Africa were predetermined historically and coincided with the boundaries of ancient lithospheric blocks that experienced different tectonic development. These geological boundaries, related to the deep geo-divisions, outlined in the crustal structure as pan-African folding belts of various ages and types.

Keywords: geology, tectonic plates, geodynamic model, paleocontinents, rifts of the Red Sea and the Gulf of Aden, African superplume, paleotectonic reconstructions