

Рифты континентов — зародыши молодых океанов

В. Г. Казьмин

Кандидат геолого-минералогических наук

С тех пор как в 50-х годах в океанах была открыта система подводных хребтов с их осевыми рифтовыми долинами возникла идея о мировой системе рифтов, опоясывающей весь земной шар. Задолго до этого рифтовые долины — узкие протяженные грабены, возникшие в результате растяжения земной коры, были известны только на континентах. Возник вопрос: связаны ли между собой континентальные и океанические рифтовые структуры и если да, то в чем заключается эта связь?

Есть ли связи между континентальными и океаническими рифтами?

Для изучения связей между континентальными и океаническими рифтами трудно подобрать более удобный регион, чем Восточно-Африканская рифтовая система. Выявление такой связи — это ключ к пониманию проблемы образования рифтов в целом, а следовательно, и к решению

многих кардинальных вопросов тектонического развития Земли.

На Восточно-Африканские рифты можно смотреть по-разному. Можно рассматривать их как результат глубинных процессов, связанных с разуплотнением вещества верхней мантии, считая при этом вертикальные движения главным процессом в рифтообразовании. Такие представления, существенно дополненные советскими исследователями во время экспедиции в Кению и Танзанию, уже были опубликованы в журнале «Природа»¹. Однако, на наш взгляд, гораздо больше для изучения природы рифтов дает другой подход — рассмотрение рифтов с позиций новой глобальной тектоники. Он показывает роль горизонтальных перемещений плит в формировании рифтов и позволяет выяснить, как осуществляется переход от континентального рифта к океаническому.

В чем проявляются связи? Прежде чем рассказать о полученных результатах, обратимся к далекому прошлому нашей планеты и познакомим читателя с ходом рассуждений, предшествовавших проведенным исследованиям.

Примерно 300 млн лет назад, как известно, существовал огромный материк Гондвана, объединявший нынешние Южную Америку, Африку, Австралию, Индию и Антарктиду. Раскол и распадение его началось 300—280 млн лет назад. На первой стадии образовались грабены, заполнявшиеся рыхлыми осадками и вулканическими породами. Эти структуры (мы



Владимир Григорьевич Казьмин, старший научный сотрудник Лаборатории геологии зарубежных стран Министерства геологии СССР. Занимается проблемами геологии Аравийского п-ва, альпийской складчатой области. В последние годы изучает рифтовые структуры Северо-Восточной Африки. Автор работ по геологии разных районов зарубежной Азии, Африки.

Космический снимок «тройного сочленения» рифтов Красного моря, Аденского залива и Эфиопского. На севере видна юго-восточная часть Аравии; стрелкой показано направление движения Аравийской плиты к северо-востоку 30°. В юго-восточной части снимка стрелка показывает движение Сомалийской плиты к юго-востоку 130°. В центре снимка изогнутой стрелкой показано вращение Данакильского блока против часовой стрелки. Афар находится в юго-западной части снимка, но он закрыт облаками.

¹ Горячев А. В. Рифты — глобальные структуры земной коры. — «Природа», 1974, № 9.

можем наблюдать их в Южной Африке, Индии, Австралии) были, судя по всему, очень похожи на современные Восточно-Африканские рифты. Дальнейший раскол Гондваны привел к расхождению континентальных блоков и проникновению моря в расширяющиеся рифты. Геологическая летопись говорит о том, что морские побережья Восточной Африки, Западной Индии, Западной Австралии, Атлантики начали формироваться в юрское и нижнемеловое время, т. е. в период с 200 до 120 млн лет назад. Позже, в конце мела (~70—80 млн лет назад), началось быстрое расширение возникших океанических впадин, продолжающееся и по сей день. Это расширение сопровождалось формированием новообразованной океанической коры в осевых зонах океанов, получивших название океанических рифтов.

Если принять такую историю геологического развития Гондваны, а именно так она рисуется новой глобальной тектоникой, то получается, что, во-первых, континентальные рифты — это зародыши будущих океанов и, во-вторых, что рифтогенез связан не с вертикальными движениями в земной коре, а с крупнейшими горизонтальными перемещениями гигантских блоков литосферы — плит.

Нам могут возразить, что такой «исторический» метод не правомочен: ведь существуют и другие интерпретации развития Гондваны, Атлантического и Индийского океанов, отрицающие роль крупных горизонтальных движений. А значит, на такой исторической основе нельзя построить полностью достоверное доказательство связи сегодняшних рифтовых структур Восточной Африки с океанами. Более того (и это один из важных аргументов, который приводят оппоненты рассматриваемой точки зрения), континентальные рифты вовсе не похожи на океанические. Правда, и те и другие характеризуются высокой сейсмичностью, причем, для обоих типов характерны мелкофокусные (неглубокие) землетрясения. Но тип коры в этих структурах совершенно различен: в океанических рифтах кора тонкая, океаническая, а в континентальных — довольно мощная, континентальная. Океаническим рифтам

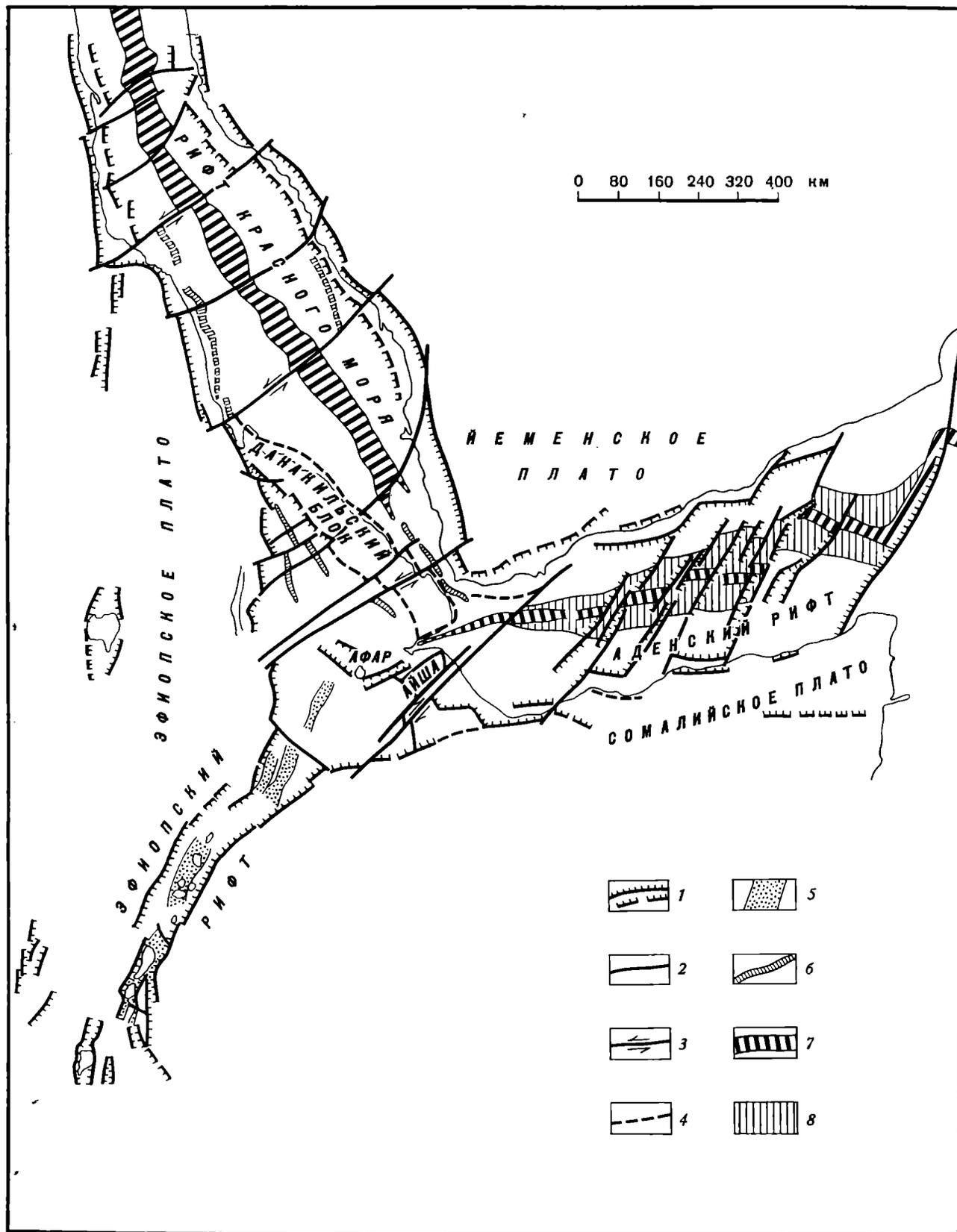
присущи положительные, а континентальным — отрицательные аномалии силы тяжести¹. Для обеих структур типичен вулканизм, но характер его совершенно различен. В океанических рифтах изливаются толеитовые, бедные щелочами базальты, тогда как с континентальными, наоборот, связаны богатые щелочами базальтовые лавы, а также кислые и щелочные породы, совершенно не характерные для океанических рифтов. Да и морфология структур различна. Океанический рифт располагается в осевой части сложно построенного, расчлененного продольными и поперечными разломами поднятия — срединно-океанического хребта. Континентальные же рифты обычно представлены цепочкой грабенов, обрамленных иногда довольно простыми полусводовыми поднятиями, а иногда имеющих характер «щели».

В нашем сравнении мы взяли крайние члены ряда — континентальный и океанический рифты. Если же наше предположение о связи двух типов структур верно, между ними должны существовать промежуточные разновидности. Если бы удалось выявить такие разновидности и последовательно проследить эволюцию от континентального рифта к океаническому, это было бы неоспоримым доказательством правоты нашей точки зрения. Поэтому, изучая закономерность эволюции тектонических структур, мы попытались отыскать их представителей, находящихся на разных уровнях эволюции, а затем сравнить их между собой. Построить такую эволюционную лестницу для рифтов — задача трудная, поскольку на Земле очень мало районов, где удается наблюдать «переходные» рифтовые структуры. И все же такие районы есть.

В течение пяти лет мне пришлось заниматься изучением геологии Эфиопии — страны, расположенной на пересечении трех рифтовых структур — Эфиопского рифта, Красного моря и

Тектоническая схема сочленения рифтов. В узком и протяженном грабене Эфиопского рифта показана осевая зона максимального растяжения. К этой зоне приурочены молодые впадины на дне рифта. Эфиопский рифт открывается в депрессию Афар, в пределах которой показаны зоны раздвига в гранитном слое. Данакильский блок занимает диагональное положение между рифтами Красного моря и Афара. Раскрытие Афара и сужение Красного моря связано с поворотом Данакильского блока против часовой стрелки (см. фото в начале статьи) и отодвиганием на восток блока Айши. Северный конец блока смыкается с Эфиопским плато, а южный почти примыкает к Йеменскому плато в юго-восточной части Аравийского п-ва. В рифте Красного моря показан осевой грабен — зона, разделившая Африканскую и Аравийскую плиты. Земная кора внутри грабена океаническая, молодая, ее формирование началось 3—4 млн лет назад. В Аденском рифте между блоками Сомалийского и Йеменского плато осевая зона имеет сложное строение, близкое к строению срединно-океанического хребта. Формирование этой зоны началось 9 млн лет назад. 1 — крупнейшие сбросы, 2 — поперечные разломы, 3 — сдвиги, 4 — предполагаемая граница блоков Данакиль и Айша, 5 — осевая зона Эфиопского рифта, 6 — зона раздвига гранитного слоя, 7 — осевые грабены рифтов Красного моря и Аденского, 8 — срединное поднятие Аденского рифта.

¹ Сила тяжести на поверхности Земли не постоянна. Она уменьшается над скоплениями легких, менее плотных пород (отрицательная аномалия) и увеличивается там, где сосредоточены массы тяжелых, плотных пород (положительная аномалия).

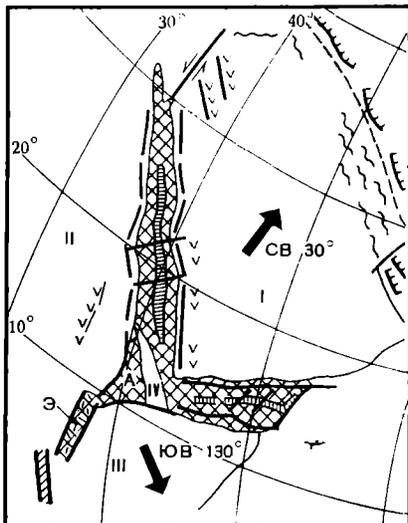
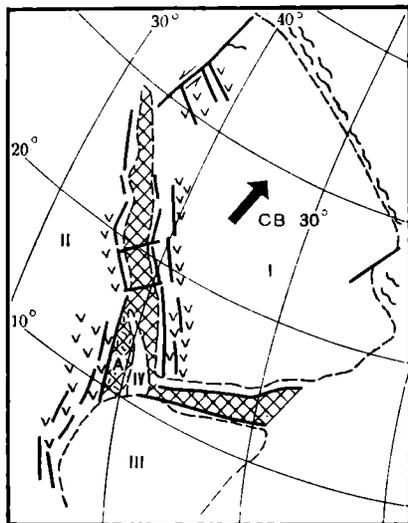
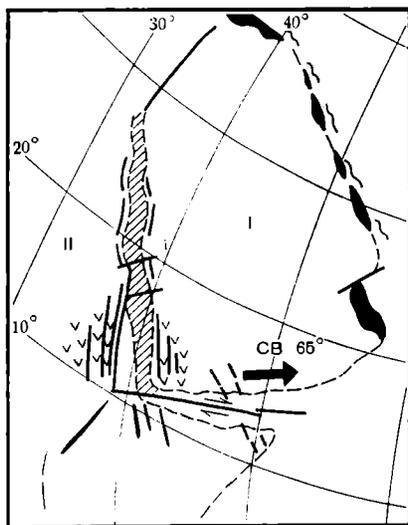


Палеотектонические схемы развития рифтовой системы. Вверху — начальный период дрефта Аравии — маастрихтский век верхнего мела (75—70 млн лет назад). Раскрытие рифта Красного моря между Аравийской (I) и Африканской (II) плитами сопровождается отодвиганием Аравии на северо-восток 65° . Раскрытие рифта (косая штриховка) происходит без полного разрыва коры за счет ее растяжения. Вдоль северо-восточного края Аравийской плиты формируются покровы пород офиолитовой ассоциации (заливка). Жирными линиями показаны сбросы, возникшие при растяжении, линии со стрелкой — сдвиги.

В середине — тектоническая обстановка в конце эоцена — начале олигоцена (40—35 млн лет назад). В это время происходит одновременное раскрытие двух рифтов: Красного моря между Аравийской (I) и Африканской (II) плитами и Аденского залива между Аравийской (I) и Сомалийской (III) плитами. Раскрытие вызывает сильное утонение коры (косые клетки). При этом траектория движения Аравии меняется с 65° на 30° . Движение Аравии сопровождается сдвигом по разломам залива Акаба и Мертвого моря (вверху). Началось отодвигание Данакильского блока (IV) и раскрытие Афара (A). В результате движения Сомалийской плиты к юго-востоку происходит образование разлома в зоне будущего Восточно-Африканского рифта (внизу, слева), начинаются излияния базальтов (галочки), рост сводового поднятия. Перед северо-восточным краем Аравийской плиты возникает складчатость (волнистые линии).

Внизу — положение плит в современную эпоху. Продолжается отодвигание Аравии к северо-востоку, сопровождающееся образованием надвигов и складок. В Красном море и Аденском заливе формируются осевые зоны (частая штриховка), в которых происходит новообразование океанической коры. Продолжается расширение Афара (A), началось образование Эфиопского рифта (Э), сопровождающееся сильным вулканизмом (перовой штрих). Сомалийская плита (III) движется на юго-восток 130° .

Таким образом, эти схемы наглядно демонстрируют три начальные стадии рифтогенеза: слабого утонения континентальной коры, затем сильного ее утонения и раздробления и, наконец, разрыва и раздвигания литосферных плит с появлением новой океанической коры.



Аденского залива. Эфиопский рифт продолжает Восточно-Африканскую континентальную рифтовую систему, принадлежит к ее восточной ветви. В то же время через своеобразную рифтовую структуру — Афар Эфиопский рифт сочленяется с рифтами Красного моря и Аденского залива, центральные части которых характеризуются уже развитием коры океанического типа. Аденский рифт, в свою очередь, по крупному поперечному сдвигу — разлому Овэн — смыкается с Аравийско-Индийским срединно-океаническим хребтом. Выявление связей и различий между континентальными и океаническими рифтами позволило, как мы увидим, сделать вывод, что эти структуры представляют собой крайние члены единого эволюционного ряда.

Ступени эволюции

Когда пролетаешь на самолете над Эфиопским рифтом, в его дне отчетливо видны зияющие кулисообразно расположенные трещины — свидетельство сильного горизонтального растяжения, в условиях которого находится вся эта структура. Наибольшей концентрации трещины растяжения и сбросы достигают в пределах узкой (несколько километров) зоны, названной американским геологом П. Моором «поясом Вончжи». На дне рифта находится немало вулканов, извергавших кислые лавы и основные базальтовые породы. Базальты отличаются высокой щелочностью, что характерно для излияний на материках.

Геофизические данные подтверждают, что земная кора под Эфиопским рифтом лишь не намного тоньше, чем под окружающими плато. Она имеет мощность 25—30 км и заметно утонена лишь в зоне Вончжи, где, как считают геофизики, на глубине 3 км залегают интрузии тяжелых основных пород. Эти интрузии, очевидно, внедрились, заполняя пространство, образовавшееся при растяжении коры. Ниже 25—30 км под Эфиопским рифтом залегает сильно разогретое и разуплотненное мантийное вещество, обычно встречающееся значительно глубже — на глубинах около 100 км. Такие же разуплотненные мантийные породы подстилают

и другие рифты, в том числе, океанические. Именно с появлением этого разуплотненного материала связана, по-видимому, отрицательная аномалия силы тяжести над рифтом.

К северу Эфиопский рифт расширяется и сливается с обширной впадиной Афара. Трудно найти место, где геологические исследования были бы столь трудны, как здесь. Дно Афара местами расположено ниже уровня моря, жара нередко достигает 50°C , лавовые покровы, почти сплошь устилающие дно, растресканы, покрыты нагромождением глыб, многочисленные молодые разломы — сбросы создают непроходимое чередование уступов, гребней, впадин...

Можно согласиться с мнением геологов Д. Маринелли и Г. Тазиева, что большая часть Афара — это по сути дела обнаженное дно Красного моря. Отложения каменной соли и другие морские осадки свидетельствуют, что совсем недавно в Афар проникало море.

Чем же отличается Афар от Эфиопского рифта? Прежде всего широким развитием структур растяжения — сбросов, зияющих трещин, грабенов. Здесь их во много раз больше, чем в Эфиопском рифте, что говорит о большем масштабе растяжения земной коры. В то же время в Афаре появляется и совершенно новый элемент структуры — осевые вулканические хребты. Эти хребты, увенчанные цепочками действующих вулканов, сложены в основном базальтами, которые по типу близки к бедным щелочами базальтам океанов и существенно отличаются от щелочных базальтов Эфиопского рифта. Судя по составу излияний, можно предположить, что гранитный слой под осевыми хребтами отсутствует, иными словами, под хребтами находятся зияющие трещины, раздвиги в гранитном слое земной коры. Это означает, что земная кора в Афаре не только растянута и утонена, но местами ее гранитный слой разорван на отдельные блоки. Важно и другое: поступление сквозь трещины огромных масс тяжелых базальтовых лав приводит к «базификации», утяжелению коры и, как следствие, — к большему, чем в Эфиопском рифте, погружению дна Афара.

Хорошо согласуются с нарисованной картиной и геофизические наблюдения¹.

Очень интересна следующая деталь. Если взглянуть на геологическую карту Эфиопии, то видно, что структура Афара расширяется с северо-запада на юго-восток. Одновременно в этом же направлении происходит сужение рифта Красного моря. Это обусловлено диагональным положением массивного блока континентальной коры Данакильского блока, который с одного конца как бы припаян к Африканскому побережью, а с другого приближен к Аравии. Многие исследователи — А. Лаутон, Д. Робертс, Г. Тазиев считали, что раскрытие Афара и сужение Красного моря связаны с поворотом Данакильского блока против часовой стрелки.

Итак, процесс растяжения и утонения земной коры в Афаре зашел значительно дальше, чем в Эфиопском рифте, и к нему присоединился и процесс «базификации», или «океанизации».

Теперь, чтобы понять, как протекает дальнейшее развитие континентальной структуры, в которой уже усматриваются и океанические черты, обратимся к рифту Красного моря.

Как показали морские исследования последних лет, а также поисковые работы на нефть, в строении Красного моря и Афара много общего. Под мощными толщами солей в шельфовых зонах моря залегают, очевидно, сильно утоненная кора, разбитая многочисленными сбросами и раздвигами осевых хребтов Афара. По мнению американских исследовате-

лей Дж. Лоуэлла и К. Геника, лишь за счет разломов в Красном море земная кора растянута на 100—200 км.

Однако в осевой части рифта Красного моря наблюдается иная картина. Здесь выделяется протяженный узкий и глубокий осевой грабен, или, как его часто называют, — осевой трог, в котором, судя по большим положительным аномалиям силы тяжести и высоким скоростям распространения сейсмических волн, кора океаническая. Для осевого трога характерны линейные магнитные аномалии, симметричные по отношению к его оси. Такие же аномалии типичны и для рифтовых зон океанов.

Возраст древнейшей магнитной аномалии в осевом трого — 3—4 млн лет. Это значит, что раскрытие трога и формирование новообразованной океанической коры в нем началось в конце плиоцена — начале четвертичного периода, когда произошел полный разрыв утоненной континентальной коры и отделение Аравии от Африки.

Таким образом, в Красном море уже отчетливо проявляются черты океанического рифта, хотя и сохраняется много общего с Афаром.

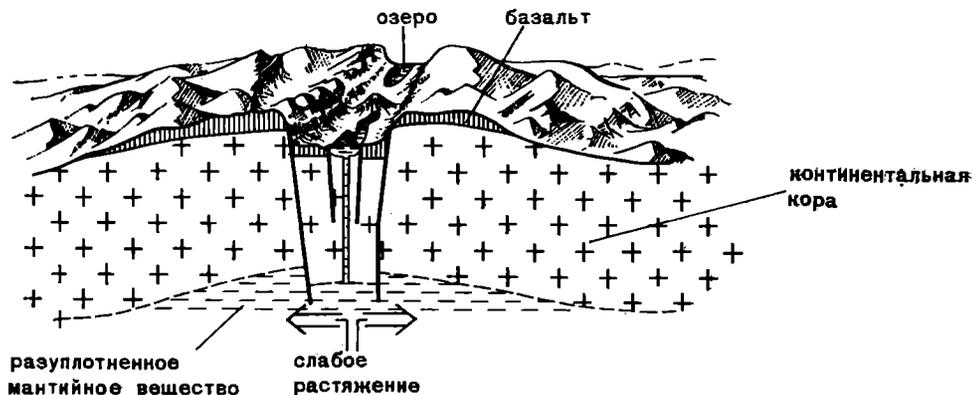
Такая же картина характерна и для Аденского рифта, где «океаническое» развитие пошло дальше.

Рассматривая батиметрические, геофизические, тектонические карты Аденского рифта, можно видеть, как структура его осевой зоны с запада на восток постепенно усложняется. На западе развит простой осевой трог, напоминающий осевой трог Красного моря. Восточнее же, в результате смещений океанического дна по продольным и поперечным разломам формируется структура, все больше напоминающая срединно-океанический хребет.

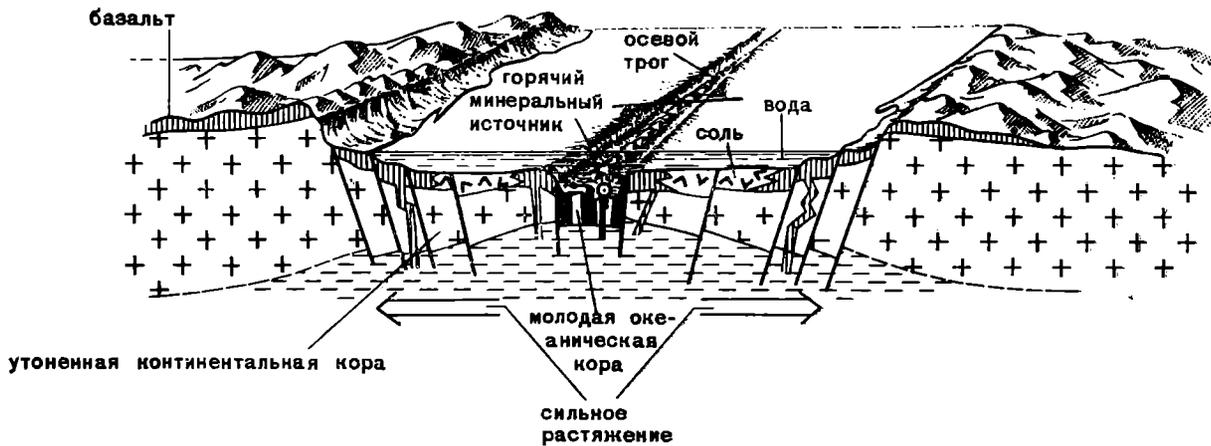
Итак, сравнивая рифтовые структуры Эфиопского рифта, Афара, Красного моря и Аденского мы видим, что они отражают различные ступени эволюции от континентального рифта к океаническому. В Эфиопском рифте наблюдается начальная стадия растяжения, сопровождающаяся умеренными (1—1,5 км) опусканиями блоков земной коры по нормальным сбросам. Утонение коры происходит

¹ По данным гравиметрии, мощность земной коры в Афаре от 5—6 (под осевыми хребтами) до 10—15 км, т. е. в 2—4 раза меньше, чем под Эфиопским рифтом. При этом слой разогретого и разуплотненного мантийного материала залегают непосредственно под корой, т. е. на глубине 5—15 км. В общем, над Афаром наблюдаются отрицательные аномалии силы тяжести, но меньшие, чем над Эфиопским рифтом. А над осевыми хребтами, где породы мантии оказались совсем близко к поверхности, наблюдаются местные «максимумы» силы тяжести.

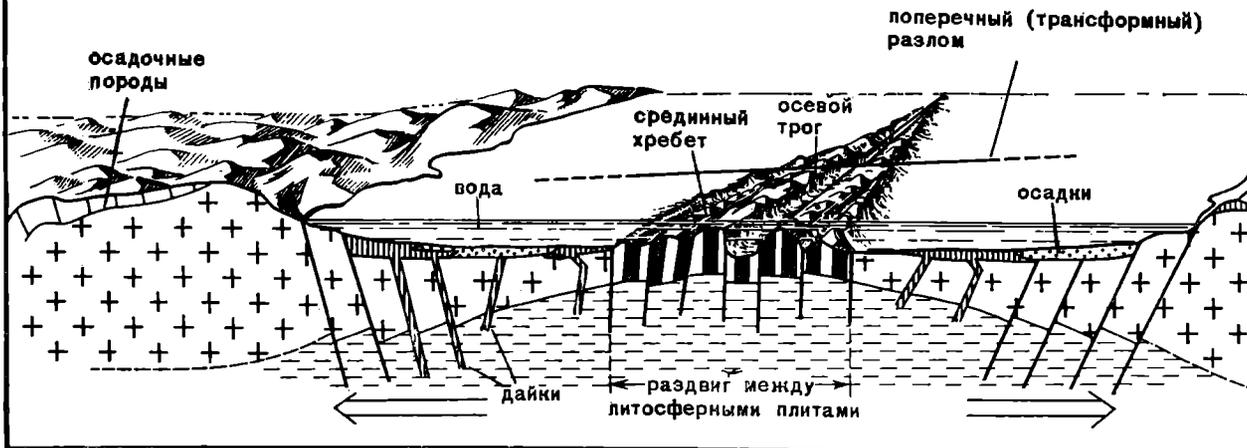
ЭФИОПСКИЙ РИФТ



КРАСНОЕ МОРЕ



АДЕНСКИЙ ЗАЛИВ



Схематические разрезы через рифты Эфиопский, Красного моря и Аденского залива показывают постепенное утонение континентальной коры, раздвиг литосферных плит и образование океанической коры.

лишь в осевой зоне рифта. Дальнейшее развитие прослеживается в образовании огромного количества разрывов растяжения, раскалывании гранитного слоя на отдельные блоки, начале «океанического» вулканизма и может быть охарактеризовано как стадия утонения и океанизации. Эта стадия, выраженная уже в Афаре, сопровождается крупными опусканиями утяжеленной «океанизированной» коры (4—6 км).

Следующая стадия — разрыв тонкой океанизированной коры и формирование осевого трога. Последний разделяет две литосферные плиты, и в нем по мере расширения происходит образование новой океанической коры, главным образом за счет интрузий основных пород (рифт Красного моря). Последующее расширение и развитие осевого трога приводит к формированию центрального поднятия типа срединно-океанического хребта (Аденский залив). Можно предполагать, что на следующей, еще более зрелой стадии развития рифтовой структуры будет формироваться молодой океан типа Атлантического.

Дрифт Аравии и происхождение Красного моря

Согласно мнению сторонников гипотезы литосферных плит, главная роль в формировании Красного моря, Аденского залива и Восточно-Африканской рифтовой системы принадлежит перемещениям Аравийской и Сомалийской плит. Попытаемся проследить историю формирования рифтовых структур и выяснить характер этих перемещений.

Наиболее раннюю фазу рифтогенеза следует отнести к началу мезозоя, когда на месте будущего Аденского рифта сформировалась впадина, заполненная потом верхнеюрскими и меловыми осадками. Нижнемеловой базальтовый вулканизм на южном обрамлении этой впадины свидетельствует о заложении уже в этот период глубоко пронизавших разломов — сбросов. Однако зафиксировать какие-либо движения Аравийской плиты, в частности в зоне Красного моря, не удается. Значит, Аравия и Аф-

рика в это время еще составляли единое целое.

В Аравии и сопредельной части Северо-Восточной Африки помимо Аденского прогиба известно еще несколько раннемезозойских структур растяжения — таких, как Пальмирский, Огаденский и другие прогибы. Образование их совпадает по времени с началом дробления Гондваны — с отделением Индостана от Африки в раннем мезозое и формированием океанического побережья Восточной Африки. В это же время началось продвижение на север и северо-восток крупных блоков континентальной коры, оторвавшихся от северного края Афро-Аравии. Эти блоки двигались в глубь моря Тетис, существовавшего тогда на месте Альпийского складчатого пояса, и в их тыловой части (на месте будущих хребтов Восточного Тавра и юго-восточного Ирана) образовались, вероятно, рифтовые океанические зоны. Вот с этим-то крупнейшими стадиями раскола континента и нужно, по-видимому, связывать образование впадин растяжения в теле Африкано-Аравийской платформы.

Раскрытие южной части рифта Красного моря относится к концу мелового периода (маастрихтский век). В это время началось «отделение» Аравии от Африки. Одновременно с этим, на северную и северо-восточную периферию Аравии надвинулись тектонические покровы, сложенные породами офиолитовой ассоциации, характерные для океанической коры и верхов мантии Земли¹. Наполнение подобных образований на спокойно залегающие платформенные осадки Аравии свидетельствует о поддвижении края Аравийской плиты под раннемезозойскую океаническую зону.

Рифт Красного моря раскрывался с юга на север, о чем свидетельствует распространение поздне меловых — палеоценовых базальтов. Соответственно, максимальные амплитуды покровов (поддвигов), наблюдаются на северо-востоке Аравийской плиты — в Омане. Здесь офиолиты, т. е. океаническая кора, перекрыли континентальный блок на расстоянии свыше 150 км.

¹ Пейве А. В. Офиолиты и земная кора. — «Природа», 1973, № 2.

Рифт Красного моря раскрывался в направлении, перпендикулярном своей оси (65°), и в этом же направлении происходило перемещение Аравии. Такой характер движения должен был неизбежно сопровождаться сдвигом Аравии относительно современной территории Сомали вдоль осевой зоны будущего Аденского залива, и действительно этот сдвиг (100—200 км) хорошо виден по смещению различных структурных элементов, в особенности по смещению докембрийских складчатых поясов.

Второй этап расширения рифтов приходится на конец эоцена — начало олигоцена — 35—40 млн лет назад. По данным глубокого бурения, в южной части Красного моря в это время начались мощные излияния базальтов, заложилась наземные озерные впадины, а затем произошла ингрессия моря.

По мнению Дж. Лоуэлла и К. Геника, в начале олигоцена область Красного моря напоминала современную Восточно-Африканскую рифтовую систему. Одновременно началось формирование Аденского рифта, что доказывается проникновением узкого залива олигоценового моря в образовавшуюся впадину (это фиксируется соответствующими осадками). Началось также раскрытие Афара в результате вращательного движения Данакильского блока. Древнейшие отложения в Афаре имеют возраст около 25 млн лет, следовательно, образование этой впадины началось раньше, в олигоцене.

Если допустить, что расширение рифтов происходит под влиянием сил, ориентированных перпендикулярно к их осям, то одновременное раскрытие Красного моря и Аденского залива должно было привести к изменению направления дрейфа Аравии. Это и произошло. Если в маастрихтском веке Аравия перемещалась на восток-северо-северо-восток (65°), то начиная с олигоцена направление дрейфа отклонилось к северу и стало северо-восточным ($15—30^\circ$).

Особо надо отметить излияния платобазальтов, которые раньше были известны лишь на севере Эфиопии, а в олигоцене начали распространяться вдоль зоны Эфиопского рифта и

рифта Грегори в Кении, и далее, на протяжении всего миоцена, — еще южнее. Такое распределение трещинных излияний однозначно указывает на развитие глубоких разломов растяжения, шедшее с севера на юг. Положение разломов было не случайным: они развивались вдоль зон сочленения, спайки разнородных элементов древней докембрийской структуры. Такими зонами являются контакты древних жестких блоков с более молодыми, но также докембрийскими складчатыми поясами.

Образование разломов в зоне Восточно-Африканского рифта не случайно совпало с началом раскрытия Аденского рифта. Давление, направленное перпендикулярно оси Аденского рифта, не только изменило направление дрейфа Аравии, но вызвало также «отщепление» Сомалийского выступа Африки вдоль «ослабленной» зоны в древнем фундаменте континента, где, например, проходили древние разломы и т. д. Лишь после этого «отщепления» Сомалийской плиты в зоне Восточно-Африканского рифта начинается интенсивный вулканизм, формируется сводовое поднятие. Получается, что образование сводового поднятия и вулканизм, отражающие процесс подъема горячего мантийного вещества в рифтовой зоне, вызываются к жизни возникновением рифтовых разломов в литосфере, а не наоборот.

С олигоценовой фазой расширения Красного моря совпадает крупнейшая фаза поперечного сжатия в складчатом обрамлении Аравии. В этот период здесь были смяты в складки флишевые толщи палеогеновых прогибов, возникли складчатые системы Тавра и юго-западного Ирана. Начался рост гор, перед которыми заложилась краевые прогибы.

Приблизительно 10—12 и 4 млн лет назад (верхний миоцен и конец плиоцена) в этом районе фиксируются еще две фазы расширения. С первой связано заложение осевого трога в Аденском заливе, резкая деформация миоценовых осадков в рифте Красного моря, формирование разломов и начало базальтового вулканизма в Афарском рифте, заложение депрессии на месте Эфиопского рифта. Вторая фаза отражена в обра-

зовании осевого трога Красного моря, заложении осевых хребтов Афара, образовании Эфиопского рифта. Обе эти фазы синхронны главным фазам сжатия и горообразования в складчатом поясе.

Совпадение во времени фаз расширения рифтов Красного моря и Аденского с фазами сжатия в складчатом поясе показывает, что оба эти процесса связаны с горизонтальными перемещениями Аравии к северо-востоку. Подобную же роль в раскрытии Эфиопского рифта сыграло перемещение Сомалийской плиты в юго-восточном направлении.

Механизм движения плит

Мы пришли к выводу, что рифтогенез — это процесс утонения и разрыва земной коры, а также формирования новой океанической коры. Процесс этот связан с перемещениями крупных плит коры и верхов мантии мощностью около 100 км. «Плавание» плит происходит по слою мантии с пониженной плотностью и вязкостью вещества — астеносфере. Что же приводит в движение плиты? Как показывают гравиметрические и сейсмические исследования, под активно развивающимися рифтами, как континентальными, так и океаническими, разогретое и разуплотненное вещество астеносферы находится на глубинах не 100, а 30—5 км от поверхности. Это говорит либо о подъеме вверх вещества астеносферы, либо о частичном расплавлении и разуплотнении верхней, литосферной части мантии.

Однако образование «клина» разуплотненных мантийных пород приводит не только к сводовому поднятию и глубинной переработке коры в рифтовой зоне, как предполагают сторонники «фиксизма», но и к отщеплению, расталкиванию литосферных плит. По мере дальнейшего развития такого «клина» горячее и менее плотное вещество перемещается из глубины к подошве коры, а затем растекается в горизонтальном направлении, увлекая за собой блоки литосферы. Именно так объясняют геологи «плавание» континентов, которое можно сравнить с плаванием льдин, уносимых мощным речным по-

током. Только «плавание» материков происходит со скоростями 1—10 см в год и лишь иногда немного быстрее.

Почему же подъем вещества астеносферы приурочен именно к данной зоне земной коры?

Мы уже видели, что «активное» расширение одной рифтовой зоны может вызвать образование крупных расколов в смежных районах. Так, раскрытие рифта Красного моря привело к «отрыву» Аравии от Сомалийской плиты в зоне будущего Аденского рифта, а раскрытие Аденского рифта, в свою очередь, вызвало «отщепление» Сомалийской плиты от Африки в зоне Восточно-Африканской рифтовой системы. Обычно такое «откалывание» крупных блоков коры происходит по каким-то ослабленным зонам, местам слайки различных структурных элементов, зонам древних разломов и т. д.

Образование глубоких расколов растяжения в литосфере приводит, очевидно, к тому, что на глубине давление резко снижается, а следовательно, снижается температура плавления пород. Вещество верхней мантии начинает частично плавиться, становится менее плотным, расширяется. В зоне глубоких расколов начинается вулканизм, сопровождаемый сводовым поднятием. Одновременно в зону пониженного давления подтекает горячее вещество из глубин, в результате чего расширение рифта продолжается. Мы приходим, таким образом, к выводу, что возникновение глубинных систем под рифтами вызывается расколом литосферы под действием внешних сил — в нашем примере сил, действующих в других рифтовых системах. Но что же могло вызвать раскол литосферы в этих последних? Что привело к зарождению рифтов на месте Красного моря, Атлантического океана и других крупнейших рифтовых систем? Какие силы вызвали раскол палеозойского Гондванского материка?

Вопросы эти пока остаются без определенного ответа. Отметим лишь, что, как показывают палеотектонические реконструкции, раскол Гондваны происходил зачастую по ослабленным зонам — подвижным поясам, зо-

нам разломов в теле древних платформ и т. д.

Многие пояса имели меридиональное или близкое к меридиональному направление. Можно предположить, что разрыв плит литосферы по таким поясам мог явиться результатом инерционных сил, возникающих при изменении скорости вращения Земли. При этом континентальные массы, обладающие большой инерцией, могли смещаться (эффект Кориолиса) и раскалываться по ослабленным зонам. В дальнейшем в зонах раскола началось формирование глубинных систем, приведших к расхождению плит в различных направлениях.

Конечно, такая схема — пока только гипотеза. Однако в ее пользу говорит тот факт, что формирование рифтов происходит в эпохи, общие для всей планеты (конец палеозоя, барремский — аптский века нижнего мела, конец мела, верхний эоцен — начало олигоцена, верхний миоцен, конец плиоцена). Иными словами, главные фазы раздробления литосферы, фазы рифтогенеза связаны с каким-то общепланетарным процессом, а не с местными явлениями, т. е. с силами, приложенными к Земле в целом, а такими силами, скорее всего, являются ротационно-инерционные.

*

Итак, континентальные и океанические рифты представляют собой крайние члены единого эволюционного ряда, переходные структуры которого хорошо прослеживаются в Восточно-Африканской рифтовой системе. Конечно, мы еще далеки от решения многих сложнейших вопросов, связанных с характером рифтогенеза, механизмом утонения континентальной коры, связи рифтов со структурой до-рифтового основания в планетарном масштабе и т. д. Они могут быть решены лишь при организации систематических геолого-геофизических исследований континентальных и океанических рифтов Земли, в первую очередь областей их сочленения, где развиты «промежуточные» структуры.

УДК 551.24; 53; 63; (267.5); (267.9)

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Белоусов В. В. и др. ВОСТОЧНО-АФРИКАНСКАЯ, РИФТОВАЯ СИСТЕМА. М., «Наука», 1974.

Грачев А. Ф. РИФТОВЫЕ ЗОНЫ.— «Земля и Вселенная», 1974, № 5. ЗЕМНАЯ КОРА И ВЕРХНЯЯ МАНТИЯ. М., «Мир», 1972.

Казьмин В. Г. СТРУКТУРНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ РИФТОВ КРАСНОМОРСКО-АДЕНСКОГО РЕГИОНА.— «Бюлл. Моск. об-ва исп. природы. Отд. геол.», 1975, № 3.

Казьмин В. Г. О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ РИФТОГЕНЕЗА (на примере развития Красноморского, Аденского и Эфиопского рифтов).— «Геотектоника», 1974, № 6.

Милановский Е. Е. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ ВОСТОЧНОЙ АФРИКИ И АРАВИИ.— «Вестн. Моск. ун-та. Сер. геол.», 1969, № 1.

НОВАЯ ГЛОБАЛЬНАЯ ТЕКТНИКА. Сб. Под ред. Л. П. Зоненшайна. М., «Мир», 1974.

СИСТЕМА РИФТОВ ЗЕМЛИ. Сб. М., «Мир», 1970.

Тарлинг Д., Тарлинг М. ДВИЖУЩИЕСЯ МАТЕРИКИ. М., «Мир», 1973.

Хаин В. Е. ОБЩАЯ ГЕОТЕКТНИКА. М., «Недра», 1973.

Хаин В. Е. ПРОИСХОДИТ ЛИ НАУЧНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ В ГЕОЛОГИИ? — «Природа», 1970, № 1.