

«Горячие точки» Земли

В. Г. Казьмин

Проблема так называемых «горячих точек» — одна из наиболее интересных в современной геодинамике, но, пожалуй, и одна из самых дискуссионных. Она оживленно обсуждается в зарубежной геологической печати. «Горячие точки» — это сильно нагретые области, постепенно перемещающиеся относительно поверхности Земли. Рядом зарубежных авторов происхождение таких областей обычно связывается с выделением горячего материала в мантии под астеносферой, на глубине в 200—300 км и более. Проходя через астеносферу, такой материал внедряется в литосферный слой, что приводит к появлению вулканической области — «горячей точки» — на поверхности Земли. При перемещении литосферы относительно мантии под астеносферой область проявления вулканизма также перемещается относительно поверхности Земли, все время оставаясь расположенной над областью выделения горячего материала под астеносферой.

Эта гипотеза весьма интересна, однако ее доказательство встречается со значи-

тельными трудностями. Прежде всего, для большинства выделенных до настоящего времени «горячих точек» надежные датировки возраста вулканических излияний отсутствуют. В ряде случаев к «горячим точкам» относят просто цепи вулканов, возраст которых точно неизвестен, или совокупности двух-трех вулканических областей разного возраста. Говорить о «горячей точке» можно только в том случае, когда имеется последовательность вулканов, возраст которых вдоль такой длинной цепи все время возрастает. Однако таких областей известно крайне мало, и различные датировки для них зачастую расходятся в несколько раз. Поэтому по рассматриваемому вопросу до сих пор нет единого мнения, причем нельзя не отметить, что ряд авторов подходит к концепции «горячих точек» критически. Тем не менее проблема заслуживает того, чтобы читателям нашего журнала о ней было известно. Автор статьи — приверженец так называемой тектоники плит, что и нашло отражение в его подходе к проблеме.



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 и Африки. Опубликовал статью в «Природе» (1975, № 8).

КАК ФОРМИРУЮТСЯ ЦЕПИ ПОДВОДНЫХ ГОР И ОСТРОВОВ?

В 1963 г. появилось интересное исследование канадского геофизика Т. Виль-

сона, посвященное возрасту островов в океанах. Исследователь подметил одну важную особенность: чем дальше вулканические острова расположены от срединно-океанического рифтового хребта, тем

они древнее. Это явление истолковывалось как доказательство движения океанического дна, в результате которого океаническая кора, образовавшаяся в рифтовой зоне, отодвигается вместе с возникшими на ней вулканическими островами от рифтового хребта к периферии океана.

В то же время, в Тихом океане были обнаружены цепи вулканических островов и подводных гор с закономерным изменяющимся возрастом вулканических построек. Так, в цепи Гавайских о-вов и Императорских подводных гор возраст древ-

него, Килауэа и др. В средних частях цепи имеются вулканические сооружения промежуточного возраста.

Важно, что современный, активный конец цепи (район о-ва Гавайя) расположен не у оси срединного хребта, а посредине Тихоокеанской плиты. Следовательно, «рождение» вулканических островов в данном случае связано не с рифтовой зоной, а с каким-то другим источником. Вильсон дал такому явлению следующее объяснение. Где-то на глубине находится фиксированный магматический очаг



Гавайско-Императорская цепь вулканических островов и подводных гор в Тихом океане. Северо-западный конец цепи начал формироваться 70 млн лет назад, возраст вулканических построек в месте резкого перегиба цепи — 25—30 млн лет назад, на восточном конце располагается область активного современного вулканизма на Гавайских о-вах. Эта область является современной проекцией мантийной струи на поверхность Тихоокеанской литосферной плиты, а Гавайско-Императорская цепь — «следом» этой струи. [показана стрелками], отражающим движение плиты над мантийной струей за 70—80 млн лет.

(«горячая точка»), над которым движется ложе океана — океаническая кора. При этом на ней возникают валлообразные поднятия и вулканы, активность которых по мере отодвигания от очага постепенно затухает. На океаническом ложе остается, таким образом, след в виде рубца-цепи вулканических гор и линейных поднятий.

По мере развития представлений о движениях литосферных плит идея Вильсона претерпела значительные изменения. В настоящее время многие геофизики предполагают, что литосферные плиты, подобно льдинам на реке, переносятся конвекционными потоками вещества, поднимающегося из недр Земли и затем «растекающегося» в стороны вблизи поверхности Земли. Первоначаль-

них вулканов на северо-западном конце цепи 67—70 млн лет, а на противоположном, восточном конце располагается район современного вулканизма со знаменитыми действующими вулканами Мау-

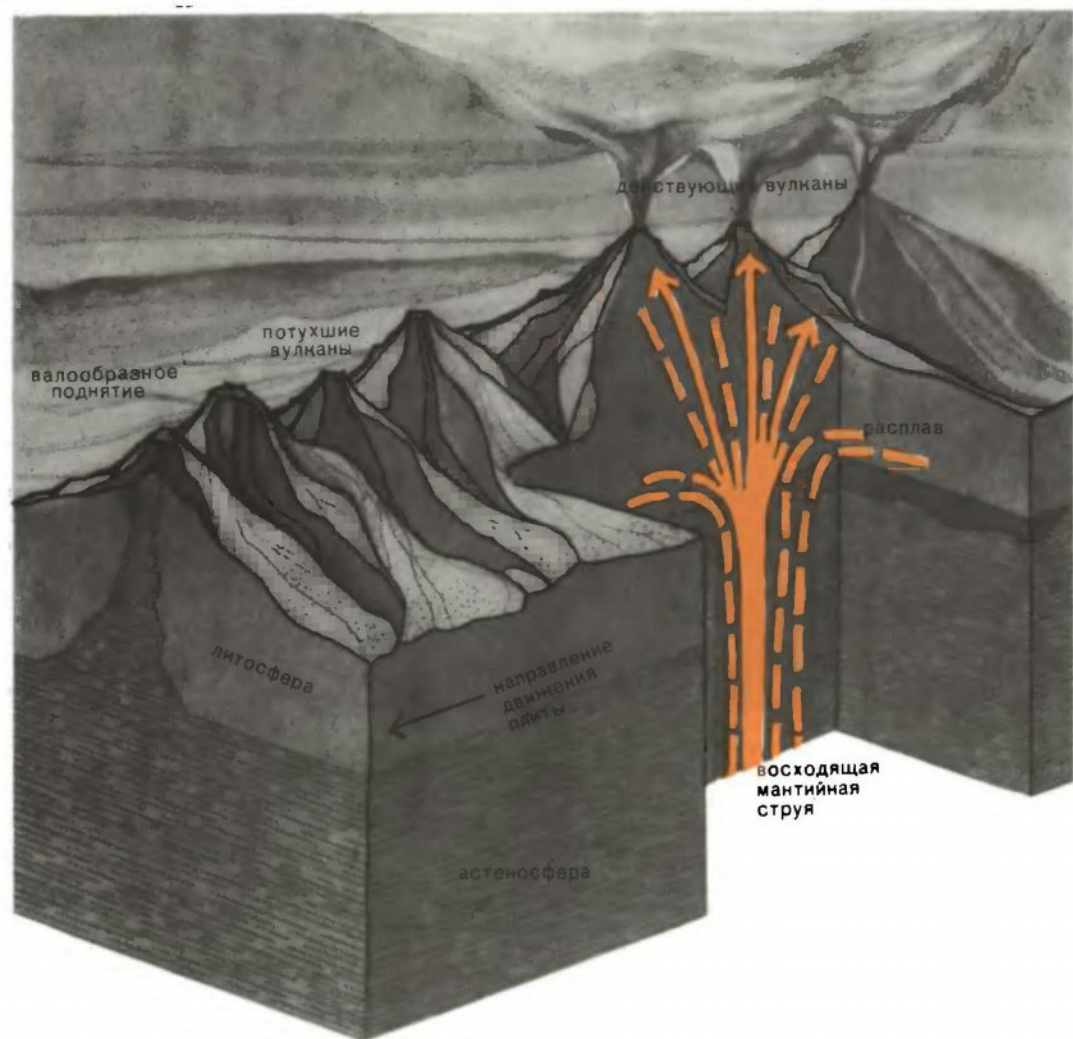
но считали, что восходящие конвекционные потоки имеют линейную форму и им на поверхности Земли соответствуют океанические рифтовые хребты. Позднее Дж. Морган обосновал также представление о потоках, поднимающихся из недр подобно столбам или струям в несколько сот километров в диаметре и затем растекающихся в виде плюмажей (подобно плюмажам дыма) в подошве астеносферы. Вот над такими-то восходящими струями разогретого глубинного материала и воз-

никают «горячие точки» на поверхности нашей планеты.

Если попытаться с этих позиций объяснить образование цепей островов и подводных гор типа Гавайско-Императорской, то получится картина, изображенная на нашем рисунке.

В РИФТОВЫХ ЗОНАХ И ВНЕ ИХ

Когда восходящий мантийный поток воздействует на литосферу, возможны два случая. В первом случае процесс не идет дальше «прокаливания» лито-



Возможная схема образования «следа» мантийной струи на литосферной плите. Над восходящей мантийной струей образуется поднятие, происходят извержения вулканов. По мере движения плиты (показано стрелкой) поднятие ото-

двигается от восходящего потока, вулканизм затухает. По мере движения плиты «след» все время наращается.

сферной плиты и валобразного вздутия ее поверхности. Этот случай иллюстрируется примером уже рассмотренной Гавайско-Императорской цепи и ряда других подобных структур в Тихом океане. К ним, например, относят цепи островов и подводных возвышенностей Туамоту—Лайн—Маркус—Неккер или Бас—Тубуаи—Самоа—Эллис—Гилберта—Маршалловых—Каролинских, а также другие образования подобного типа.

Но более обычен другой случай — когда над восходящей мантийной струей в результате напряжений, создаваемых растекающимся веществом, происходит раскол литосферы, формируется рифтовая зона. В этом случае «горячая точка» оказывается на оси рифтового хребта или в точке сочленения трех рифтовых зон, расположенных под углом 120° друг к другу. Теоретические расчеты показывают, что именно так должна раскалываться литосфера над восходящей струей и именно такие «тройные сочленения» действительно наблюдаются в природе (например, тройное сочленение рифтов Красного моря, Аденского залива и Эфиопского¹). К числу примеров «горячих точек», расположенных на оси рифтовой зоны, по-видимому, можно отнести несколько подобных структур в Атлантике — районы вулканических о-вов Буве, Тристан-да-Кунья, Азорских о-вов, Исландии. В Тихом океане — «горячие точки» предполагаются в районе о-ва Пасхи, о-ва Ванкувер. Всего на осях рифтовых хребтов находятся свыше 20 предполагаемых «горячих точек».

Поскольку океаническая литосфера движется в обе стороны от рифтовой зоны, «горячая точка», находящаяся на оси хребта, может оставить два синхронно образующихся следа (цепи поднятий) на обеих плитах.

Примером таких следов являются подводные хребты Китовый и Риу-Гранди в Южной Атлантике. Образование обоих хребтов Вильсон и другие исследователи связывают с мантийной струей, расположенной (или располагавшейся в прошлом) в районе о-вов Тристан-да-Кунья и Гоф.

ЕСТЬ ЛИ СЛЕДЫ «ГОРЯЧИХ ТОЧЕК» НА КОНТИНЕНТАХ?

Если в океанах местоположение «горячих точек» можно определить по поло-

жению вулканических островов на «активном» конце островных цепей и подводных хребтов, а также в местах тройных сочленений, то на континентах дело обстоит значительно сложнее. Многие исследователи предлагают считать области активного вулканизма и поднятия следами «горячих точек» на поверхности континентальных частей литосферных плит. Таким образом, на земной поверхности удастся выделить около 40 «горячих точек» только в пределах континентов. Однако такой подход — чрезмерно упрощенный.

Обратимся для примера к Африке. Здесь известно несколько районов молодого, неоген-четвертичного вулканизма, сопровождающегося обычно неотектоническим поднятием. Такова обстановка в нагорьях Ахагар (Алжир) и Тибести (Центральная Африка), в центральных районах Ливии. Характерной особенностью всех этих районов является то, что вулканические ареалы и поднятия имеют изометрическую форму и не перемещаются, а остаются в одном и том же месте в течение нескольких десятков миллионов лет. А это возможно лишь в двух случаях. Либо Африканская плита остается в течение этого времени неподвижной, либо под указанными вулканическими районами нет мантийных струй. Неподвижность плиты — маловероятно. Об этом говорит факт расширения океанических рифтовых зон в Атлантике и к югу от Африки, а это вряд ли могло бы происходить при неподвижности Африканского континента. Остается, следовательно, другая возможность — источник вулканизма и поднятия (магматический очаг) расположен в подошве литосферы или в верхней части астеносферы и перемещается вместе с плитой. Естественно, такой очаг не может быть связан с фиксированной мантийной струей.

Если мы исключим из рассмотрения все «сложные горячие точки» и те которые прекратили свою активность к настоящему времени, то число «действующих» мантийных струй на Земле вряд ли превысит 15—20.

АФРИКАНСКИЙ РИФТ — ВОЗМОЖНЫЙ СЛЕД МАНТИЙНОЙ СТРУИ

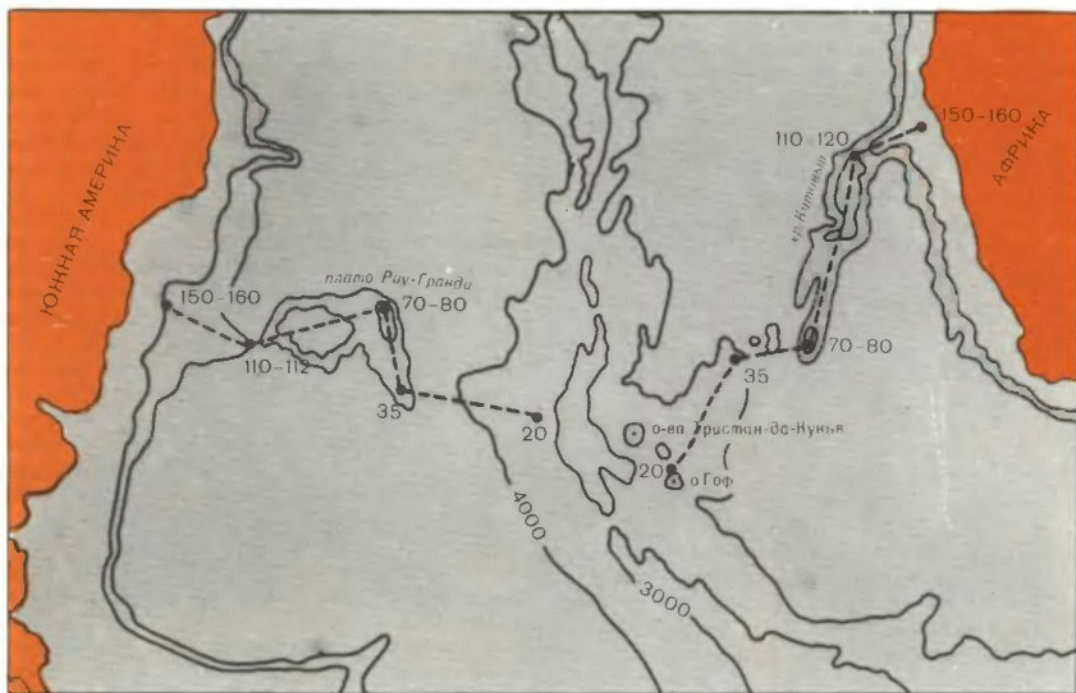
В отечественных и зарубежных работах не раз высказывалось предположение, что рифтовая зона Восточной Африки с ее мощным вулканизмом как-то связана с восходящим мантийным потоком.

В этой связи очень интересно распределение вулканических пород разного возраста вдоль Эфиопского и Кенийско-

¹ К а з ь м и н В. Г. Рифты континентов — зародыши молодых океанов. — «Природа», 1975, № 8.

го рифтов. Можно проследить, что раньше всего — в позднем мелу — вулканизм начался на северо-востоке, в области тройного сочленения Красноморского, Аденского и Эфиопского рифтов. В олигоцене — раннем миоцене вулканическая область переместилась южнее, в район Эфиопского рифта, а в позднем миоцене (12—13 млн лет назад) она находилась уже в зоне Кенийского рифта. Наконец, 3 млн лет назад вулканизм начался на самом южном окончании рифтовой зоны в Северной Танзании. Если предпо-

сунке показаны разной штриховкой, можно рассматривать как проекции струи на поверхность плиты в разное время, а ось вулканического пояса — как траекторию дрейфа Африки. Если наши предположения верны, то, согласно траектории, величина перемещения Африки за 70—80 млн лет равна 1800 км, а средняя скорость движения составляет 2,2 см/год. Можно отметить также, что направление движения изменилось с восточно-северо-восточного (60°) на почти северное и что изменение это произошло где-то в олигоцене (пово-



Карта Южной Атлантики, показывающая хребты Итатовый и Рив-Гранди. Оба хребта некоторыми геофизиками рассматриваются как «следы горячей точки», располагавшейся до нижнемiocенового времени на оси Срединно-Атлантического хребта. Литосферные плиты (Африканская и Южноамериканская) расходятся в стороны от хребта, как показано стрелками. При этом одновременно образуются два «следа» (по одному на поверхности каждой из них). Пунктирная линия показывает движения плит, цифры обозначают время, когда данная точка находилась над мантийной струей. Формирование «следов» происходило в период от 160 млн лет до настоящего времени.

ложить, что распространение вулканизма на юг связано с продвижением Африканской плиты над «горячей точкой» в мантии, то области, которые на нашем ри-

рот вектора против часовой стрелки произошел в пределах области с началом вулканизма 30—35 млн лет назад).

В настоящее время мантийная струя должна располагаться по этой схеме где-то у южной оконечности Кенийского рифта — в районе высокой сейсмической активности и современного вулканизма (вулканы Килиманджаро, Хананг, Нгоронгоро, Ол-Доиньо-Ленгаи и многие другие).

ЧТО ЖЕ ДАЕТ ГИПОТЕЗА МАНТИЙНЫХ СТРУЙ?

В этом вопросе можно различать две стороны. Во-первых, если существование мантийных струй будет доказано (а для этого необходимы дальнейшие комплекс-

ные геофизические и геологические исследования), то значительно изменится наше представление о характере движения вещества в недрах Земли. Вместо замкнутых конвекционных ячеек, в которых вещество циркулирует от ядра к подошве литосферы и обратно, выявится более сложная система, включающая несколько восходящих струй грибообразно «расплывающихся» в астеносферном слое. Сами мантийные струи, возможно, удастся отождествить с поднимающимися массами менее плотного вещества — астенолитами, существование которых доказывалось рядом исследователей.

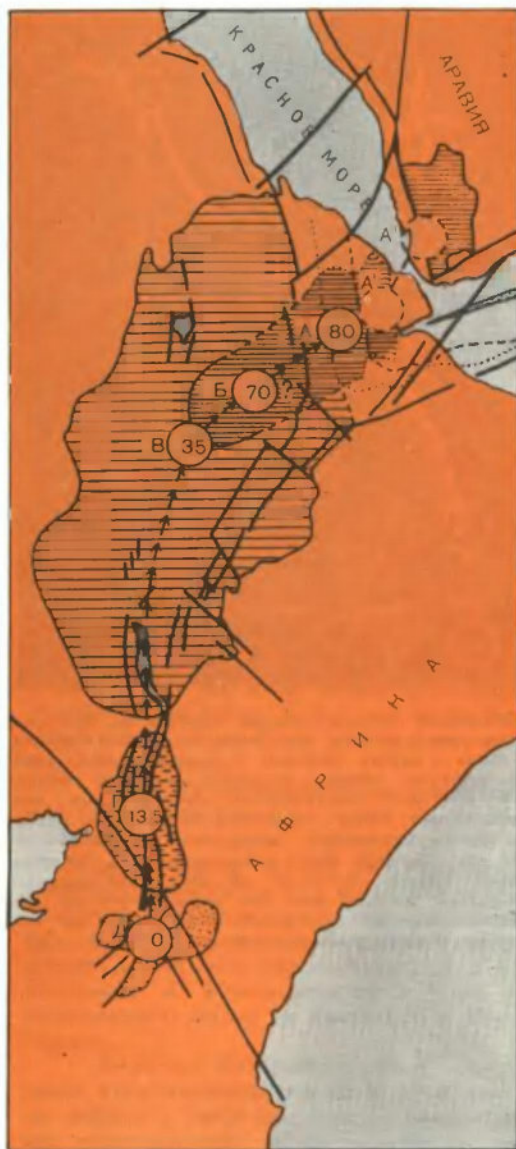
С другой стороны, открываются большие возможности для выяснения динамики движения литосферных плит и палеотектонических реконструкций. Обратимся к одному из интереснейших следов мантийных струй — хребту Китовому. Формирование этого следа началось с началом раскрытия Южной Атлантики, т. е. примерно 160 млн лет назад (океан проник в рифтовую зону несколько позже — 110—120 млн лет назад). Закончилось формирование следа примерно 20 млн лет назад — это возраст о-вов Тристан-да-Кунья и Гоф. Значит данный след отражает движение Африканской плиты за период 160—20 млн лет.

Траектория, полученная нами по зоне Восточного рифта, отражает движение Африки за период от 70—80 млн лет до настоящего времени. Теперь соединим эти две траектории (они частично перекрывают друг друга) и получим траекторию движения Африканской плиты за время от поздней юры до современной эпохи.

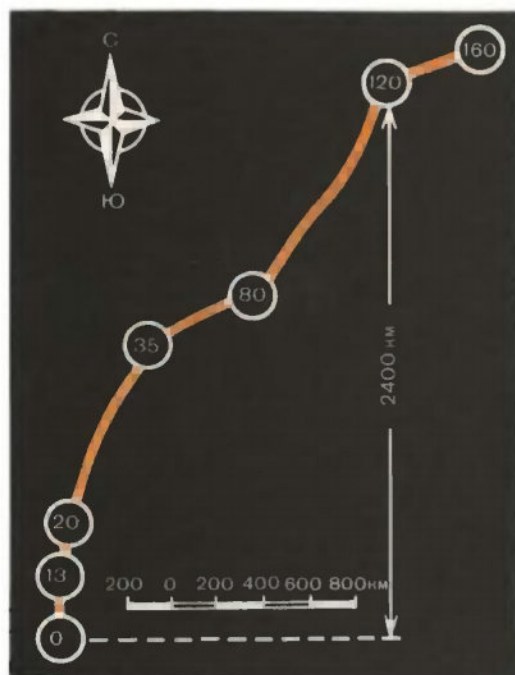
Если мы захотим узнать, например, где находилась Африка 160 млн лет назад, достаточно «вернуть» ее в исходное положение, следуя намеченной траектории. Важно отметить, что в соответствии с полученной траекторией меридиональная составляющая перемещения Африки за 110—120 млн лет равна 2400—2500 км. Вычисление палеоширот по остаточной намагниченности горных пород показало, что за это же время точка, соответствующая городу Найроби, переместилась с 20° ю. ш. до 1,3° с. ш., т. е. на 2100 км по меридиану. Как видим, величины меридиональной составляющей перемещения, вычисленные двумя независимыми методами, оказываются очень близкими.

Другое важное заключение, полученное в результате изучения следов «го-

Возможная интерпретация вулканической зоны Восточного рифта Африки как «следа горячей точки». Различной штриховкой показаны ареалы с разным временем начала вулканизма. Это время указано цифрами [в млн лет] в точках А, Б, В, Г и Д. Самый древний ареал образуется при слиянии областей развития позднемеловых базальтов Эфиопии и Йемана при сближении Африки и Аравии. Позднемеловое положение края Аравии показано точками, раннепалеогеновое — пунктиром. А' и А'' — перемещение точки А в процессе раскрытия Красного моря. Линия АВВГД со стрелками — траектория дрейфа Африки за 70—80 млн лет.



рячих точек», заключается в следующем. Траектория здесь не прямая и не является плавной кривой. Она состоит из двух отрезков восточно-северо-восточного направления (60°) и двух северо-северо-восточных отрезков ($20-30^\circ$). Ясно, что движение плиты было не прямолинейным и что направление движения периодически менялось. Изменения направления происходили каждые 35—45 млн лет и выражались в повороте вектора движения последовательно то по часовой стрелке, то против нее.



Суммарная кривая дрейфа Африки за 160 млн лет, построенная по двум «следам горячих точек» — хребту Китовый и вулканической зоне Восточного рифта. Цифрами указано время (в млн лет) прохождения данной точки над мантийной струей. Выделяются четыре эпохи дрейфа. В течение двух эпох [120—160 и 35—80] дрейф был субширотным, в течение двух других [0—35 и 80—120] — субмеридиональным. За 120 млн лет меридиональная составляющая дрейфа равна 2400 км, а по палеомагнитным данным — примерно 2100 км.

Скорость движения также была неравномерной: она то увеличивалась, то уменьшалась. Например, на отрезке 35—20 млн лет скорость движения Африканской плиты составляла 6,1 см/год, а на отрезке 20—13 млн лет — всего 2,5 см/год. Возможно, что периоды ускорения движения совпадают с периодами изменения направления.

Подобный характер движения характерен, по-видимому, и для других литосферных плит. Так, в следах тихоокеанских «горячих точек» можно увидеть резкие переломы, соответствующие эпохам изменения направления движения плиты. Судя по возрасту островов, в месте поворота (25—30 млн лет) изменение направления движения Тихоокеанской плиты произошло примерно в то же время, что и Африканской.

Эти факты имеют большое значение. Уже давно подмечено, что тектоническая активность на нашей планете протекает не равномерно, а импульсами. Советский геолог Г. Ф. Лунгерсгаузен суммировал данные о проявлениях складчатости, поднятий и опусканий, вулканизме и пришел к выводу, что интенсивность протекания всех этих процессов периодически усиливается, причем максимумы тектонической активности повторяются через 40—45 млн лет. Существование примерно сорокаmillionнолетнего ритма тектонической активности признается и рядом других исследователей. Если обратиться к рифтовым зонам, ограничивающим Африканскую плиту с запада и юга, к Африкано-Аравийской рифтовой системе и, наконец, к складчатому альпийскому обрамлению Африки и Аравии, то в развитии этих структур сорокаmillionнолетние ритмы выступают очень отчетливо. Например, эпохи 70—80 и 30—40 млн лет были эпохами максимальных деформаций сжатия в альпийском поясе. Одновременно — это эпохи наиболее интенсивного раскрытия рифтов Атлантики, Красного моря и т. д. Намечается, таким образом, возможность корреляции импульсов в движении литосферных плит с ритмичным протеканием тектонических процессов.

Многое в этой проблеме остается, разумеется, неясным. Неясно, прежде всего, чем обусловлен сложный характер движения плит, как далеко во времени прослеживается такой характер движения, имеются ли в этом движении более короткие и более длинные ритмы. Выяснение этих и других проблем — важная задача геодинамики.