

“THE RING OF FIRE” OF THE PACIFIC OCEAN: ITS PAST, PRESENT AND FUTURE

M. G. LOMIZE

The magmatic sources of circum-Pacific volcanoes are generated by subduction and consumption of the oceanic lithosphere beneath continental plates. The history of “the Ring of Fire” is traced since the Early Mesozoic when it surrounded the Pangaea supercontinent. Some further shortening of the “Ring” around the Pacific will take place, but then it will fall to segments separating away from one another.

Магматические очаги, питающие вулканическое кольцо Тихого океана, обусловлены поддвижением океанической литосферы под окружающие континенты и ее поглощением на глубине. История вулканического кольца прослежена с начала мезозоя, когда оно обрамляло суперконтинент Пангея. Кольцо еще будет сокращаться вокруг Тихого океана, но затем распадется на сегменты, удаляющиеся один от другого.

© Ломизе М.Г., 1999

ВУЛКАНИЧЕСКОЕ КОЛЬЦО ТИХОГО ОКЕАНА: ЕГО ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

М. Г. ЛОМИЗЕ

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

ВВЕДЕНИЕ

Давно замечено, что большинство действующих вулканов размещается на обрамлении Тихого океана. Каждый год приходят новые сообщения об извержениях: то на Камчатке (где активны Ключевской, Безымянный и многие другие вулканы), то на Курильских островах и далее на юг вплоть до Новой Зеландии, то по другую сторону Тихого океана — в Андах, Центральной Америке, Каскадных горах или, наконец, на Аляске и Алеутских островах (рис. 1). Почти 500 вулканов Тихоокеанского кольца — это около 75% всех вулканов, действующих на континентах и островах, в среднем за один год их извержения выносят приблизительно 1,5 км³ глубинного вещества. Широко известно, что к тому же обрамлению Тихого океана приурочены и многие землетрясения. Вызванные ими огромные волны цунами время от времени обрушиваются на морские берега, опустошая их.

Но почему вулканы и землетрясения сосредоточены именно там, на тихоокеанском обрамлении? Ведь на берегах Атлантического или любого другого океана такой геологической активности нет. Какие особенности внутреннего строения Земли выражает собой это грандиозное (диаметром около 10 тыс. км) огненное кольцо Тихого океана, обусловленное выходом на поверхность планеты потока энергии и вещества? Давно ли и отчего оно образовалось, как будет меняться в будущем? Задумавшись об этом, мы обнаружим новые вопросы, в большинстве своем трудные для современной науки. И все же много интересного мы уже знаем. Эти знания быстро приумножаются в последние десятилетия, особенно благодаря успехам геофизики, геохимии, океанологии и космической геологии.

ГЛУБИННЫЕ КОРНИ ВУЛКАНОВ ТИХООКЕАНСКОГО КОЛЬЦА

Приглядевшись к Тихоокеанскому вулканическому кольцу, мы увидим, что на западном обрамлении океана вулканы образуют цепочки островов (так называемые островные дуги), которые отделяют окраинные моря: Берингово, Охотское, Японское и др. На восточном, американском обрамлении

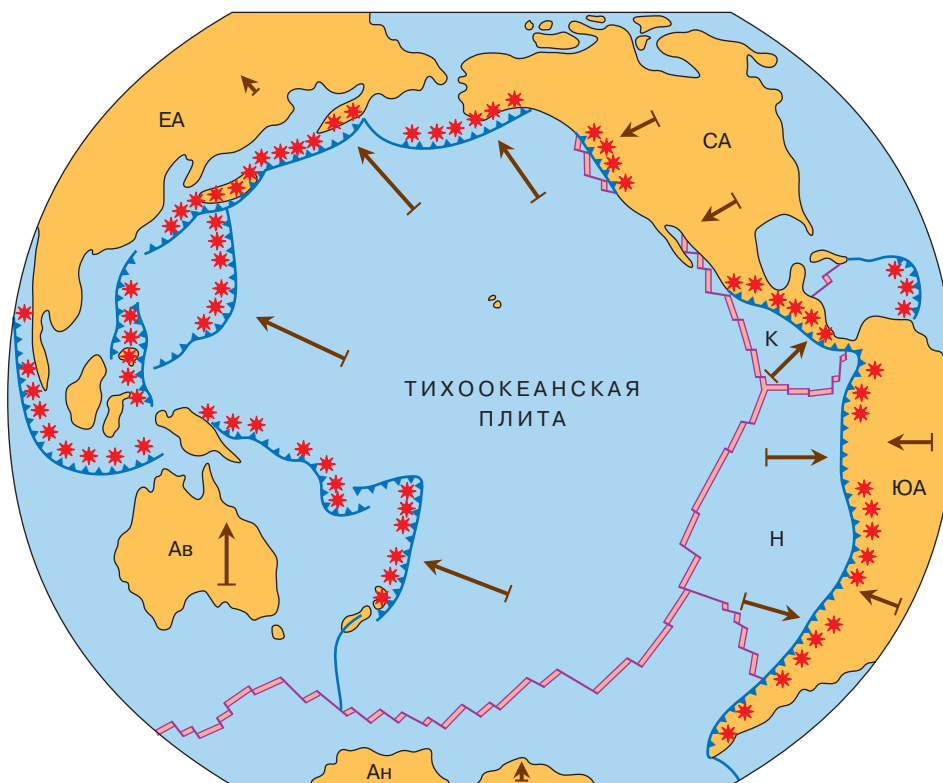


Рис. 1. Вулканическое кольцо Тихого океана. Каждая цепочка вулканов (красные значки) следует рядом с глубоководным желобом (линии с зубцами), где океанское дно пододвигается под край соседней литосферной плиты с разместившимися на нем вулканами. Двойные сиреневые линии – срединно-океанические хребты, где литосферные плиты расходятся, а океанское дно разрастается. Стрелки – векторы скорости движения литосферных плит, максимальная скорость 10 см/год. Обозначения литосферных плит: К – Кокос, Н – Наска, EA – Евразийская, CA – Северо-Американская, ЮА – Южно-Американская, Ан – Антарктическая, Ав – Австралийская

таких окраинных морей нет и вулканы размещаются непосредственно на краю континента. В обоих случаях со стороны океана рядом с каждой вулканической грядой прослеживается узкий глубоководный желоб, например Марианский или Чилийско-Перуанский. Таковы соотношения между размещением вулканов Тихоокеанского кольца и крупными формами рельефа. А что известно о глубинных корнях этих вулканов?

Каждое вулканическое извержение представляет собой как бы отголосок тех мощных геологических процессов в недрах Земли, которые сопровождаются образованием очагов магмы. Время от времени магма находит путь к поверхности, поднимается и несет с собой информацию об этих глубинных процессах. О них судят по разнообразным признакам: характеру вулканических извержений, температуре изливающейся лавы, кристаллическим выделениям минералов и химическому составу, обломкам горных пород, захваченных магмой на путях ее подъема.

Глубинные корни вулканов поддаются и непосредственному изучению методами геофизики: специально разработанная аппаратура позволяет улав-

ливать и исследовать идущие из недр упругие колебания (так называемые сейсмические волны), измерять тепловой поток, наблюдать прохождение естественных электрических токов. С помощью геофизических методов можно просвечивать недра упругими волнами и получать объемное изображение подобно тому, как это делают в медицине рентгеновскими лучами. Так же как и в медицине, геофизики называют это томографией. Наконец, выявляется распределение масс (по аномалиям силы тяжести) и определяются магнитные свойства тех или иных объемов глубинного вещества.

Оказалось, что корни вулканов Тихоокеанского обрамления прослеживаются гораздо глубже, чем это предполагали прежде, а зарождение и размещение вулканов строго обусловлены геологической обстановкой. Здесь мы подходим вплотную к вопросам о природе и происхождении Тихоокеанского вулканического кольца. Но, прежде чем перейти к ним, напомним нужные для этого геологические сведения.

Внешняя твердая оболочка нашей планеты, сложенная горными породами с высокими упругими

свойствами, выделяется как литосфера (“каменная оболочка”). Ее толщина под океанами — от нескольких километров до 80–90 км, а под континентами — от 100 до 350 км. Приповерхностная часть литосферы (ее “облицовка”) заметно отличается составом и низкой плотностью горных пород, ее называют земной корой. Активные разломы, отмеченные очагами землетрясений, делят литосферу на крупные части, называемые литосферными плитами.

Под литосферой прослеживается астеносфера — размягченная оболочка толщиной в несколько сот километров¹. Именно астеносфера служит той пластичной подстилкой, которая позволяет жестким литосферным плитам передвигаться и скользить в горизонтальных направлениях относительно более глубоких недр Земли. Вместе с литосферными плитами передвигаются (дрейфуют) находящиеся на них континенты, направление и скорость этих движений можно измерить методами космической геодезии.

Карта литосферных плит Земли опубликована в статье В.Е. Хаина [5], где, в частности, рассказано о важных геологических преобразованиях, происходящих на границах между плитами. Там, где две соседние плиты расходятся, открывающееся пространство заполняется за счет подъема расплавленного глубинного вещества, происходит образование и разрастание океанической литосферы, ее спрединг. На других границах, где две литосферные плиты сходятся, одна из них (тяжелая океаническая плита) пододвигается под другую и наклонно уходит на глубину в размягченное вещество астеносферы — происходит ее субдукция.

По мере субдукции океаническая литосфера попадает в область все более высоких температур и давлений, где из нее выделяются перегретые минеральные растворы (флюиды). От наклонной зоны субдукции эти флюиды и тепловой поток направляются вверх, возбуждая плавление горных пород и образование магмы. В свою очередь, магма прорывается на земную поверхность, порождая вулканические извержения. Так над зоной субдукции образуются связанные с нею вулканы.

В Тихом океане находится несколько зон спрединга (разрастания) океанической литосферы, главная из которых Восточно-Тихоокеанская (рис. 1). По периферии океана происходит субдукция этой литосферы под обрамляющие континенты. Над каждой зоной субдукции протянулась цепочка вулканов, все вместе они и образуют Тихоокеанское кольцо. Но кольцо это неполное и прерывается там, где нет субдукции — от Новой Зеландии и вдоль ан-

тарктического побережья. Кроме того, ни субдукции, ни вулканизма нет на двух отрезках побережья Северной Америки: вдоль полуострова и штата Калифорния (более 2000 км) и к северу от острова Ванкувер (почти 1500 км).

Соотношения между вулканами и уходящей под них зоной субдукции можно рассмотреть на примере Камчатки: ее геологическое строение подробно изучено, а действующие вулканы (их около 30) находятся под постоянным наблюдением сотрудников Института вулканологии РАН в Петропавловске-Камчатском. Этот отрезок вулканического кольца приурочен к активной границе двух крупных литосферных плит: Тихоокеанская плита, которая движется здесь на северо-запад со скоростью 8–9 см/год, пододвигается под почти неподвижный континентальный край Евразийской плиты. Согласно некоторым расчетам, этот край, возможно, тоже перемещается на северо-запад, но очень медленно (со скоростью менее 1 см/год). Таким образом, скорость относительного схождения (конвергенции) литосферных плит близка здесь к 8 см/год, что определяет и скорость субдукции. В рельефе морского дна линия соприкосновения двух литосферных плит выражена узким и глубоководным (до 8 км) Камчатским желобом.

На рис. 2 приведен геологический разрез, пересекающий Камчатскую зону субдукции. Видно, как Тихоокеанская плита сначала полого пододвигается под камчатскую континентальную окраину, затем перегибается и уходит на глубину под углом около 55°. Это сравнительно древняя (мелового возраста), мощная (толщиной около 70 км), холодная и упругая океаническая литосфера. Поэтому она хорошо различима и ниже, где погружается в разогретый и размягченный материал астеносферы. С помощью сейсмической томографии удалось проследить субдуцирующую плиту намного глубже отрезка, изображенного на рис. 2. В отличие от многих других зон субдукции здесь литосфера пересекает границу верхней и нижней мантии Земли (в 670 км от поверхности), достигая глубин более 1000 км. При этом, погружаясь наклонно, Тихоокеанская плита проходит под всей Камчаткой, а далее под Охотское море.

Как показано на разрезе (рис. 2), субдукция под Камчатку сопровождается образованием очагов землетрясений. Они появляются уже на первом перегибе литосферы у глубоководного желоба (очаги растяжения на своде и сжатия внутри изгибающейся плиты). Затем следуют многочисленные и сильные очаги скалывающих напряжений на контакте двух сходящихся литосферных плит — там, где одна из них отжимается вниз и начинает пододвигаться. Наконец, еще ниже, где океаническая плита пересекает вязкую астеносферу, очаги зарождаются внутри нее до тех пор, пока плита не разогрется и не утратит способность к хрупким деформациям. Это очаги растяжения и сжатия, порожденные температурными и иными изменениями объема пород. Как

¹ Вся огромная по объему область между земной корой и земным ядром (поверхность которого находится на глубине около 2900 км) сложена горными породами сходного химического состава и объединяется под названием “мантия” Земли. Таким образом, астеносфера как размягченная оболочка прослеживается внутри мантии и отделяет самые верхи мантии, принадлежащие литосфере.

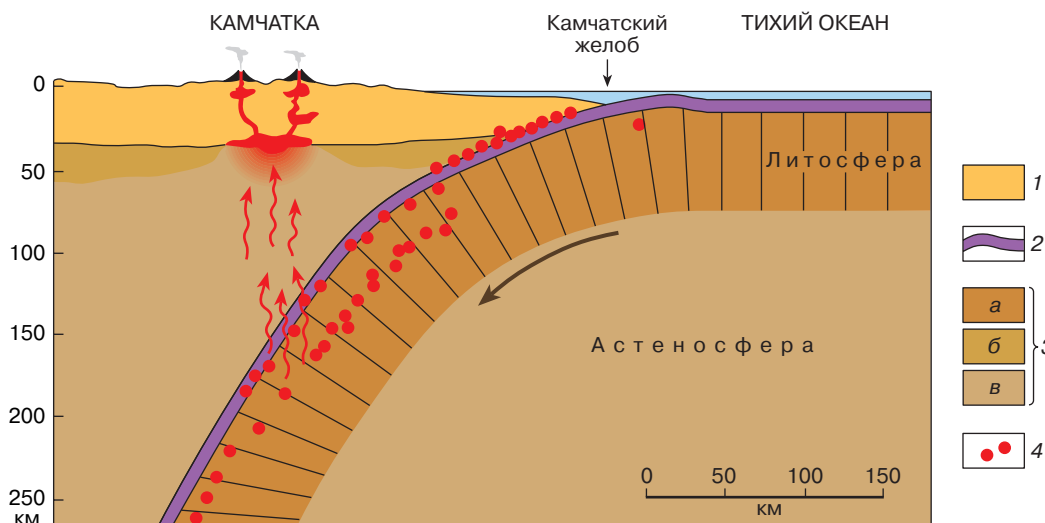


Рис. 2. Глубинный профиль: тихоокеанская литосфера пододвигается под Камчатку и погружается в астеносферу, образуя наклонную сейсмическую зону. Попадая в область высоких давлений и температур, породы литосферы выделяют горячие флюиды, которые направляются вверх, образуя магматические очаги, а над ними – вулканы: 1 – континентальная земная кора; 2 – океаническая земная кора; 3 – породы мантии Земли, в том числе в океанической литосфере (а), в континентальной литосфере (б) и астеносфере (в); 4 – очаги землетрясений в зоне субдукции

видно на разрезе, такие очаги землетрясений сначала (до некоторой глубины) размещаются в два ряда, это обусловлено большой толщиной субдуцирующей литосферы. В целом вырисовывается наклонная сейсмическая зона, берущая начало от Камчатского желоба и доходящая до глубин 500–550 км. Подобные же наклонные системы очагов характерны для всех современных зон субдукции, это так называемые зоны Бенъофа (по имени изучавшего их геофизика из Калифорнийского технологического института), кое-где они достигают глубин около 700 км.

Наклонная сейсмическая зона, которая начинается у глубоководного желоба и уходит под Камчатку, изображена и на карте (рис. 3), где линиями показано расстояние от земной поверхности до сейсмической зоны. Нетрудно заметить, что размещение активных вулканов согласуется с этими линиями: почти все извержения происходят там, где субдуцирующая литосфера достигает глубин 100–200 км. Это закономерность, проявляющаяся и в других зонах субдукции. Вместе с тем замечено, что именно на таких глубинах под вулканическим поясом очагов землетрясений сравнительно мало: в зоне Бенъофа прослеживается слабосейсмичный пробел, который означает снижение упругих свойств субдуцирующей литосферы. Наиболее вероятной причиной этого считают массовое выделение флюидов, поскольку литосфера, перемещаясь на глубину, достигает критических значений температуры и давления. Как отмечалось выше, подъем горячих флюидов формирует магматические очаги и вулканический пояс.

Под Камчаткой прослежен почти весь путь от зоны субдукции на глубине до извергающихся вул-

канов на поверхности. На первом отрезке этого пути заметны некоторое разуплотнение пород и сильное затухание упругих волн. По-видимому, там происходят частичное плавление горных пород, отжим

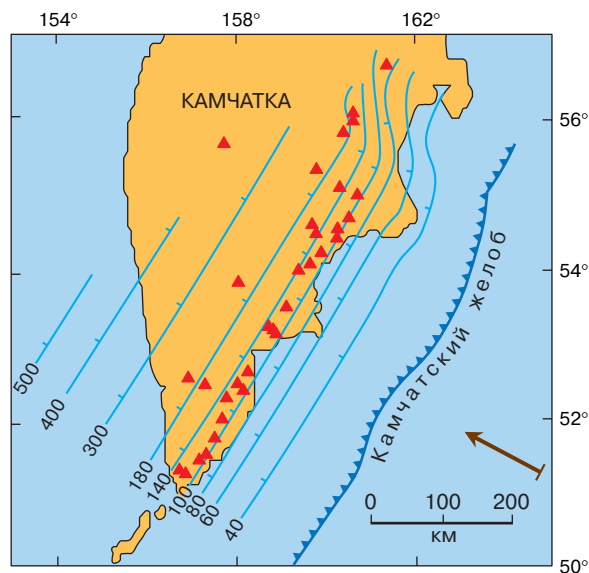


Рис. 3. Карта наклонной сейсмической зоны, которая погружается под Камчатку, начинаясь у глубоководного желоба (линия с зубцами). Линии с цифрами – расстояние от земной поверхности до сейсмической зоны в километрах (по А. Горбатову и др.). Цепь действующих вулканов Камчатки протянулась на определенной дистанции от желоба – там, где пододвигающаяся литосфера Тихого океана достигает глубин 100–200 км

образующегося расплава из межзернового пространства и его перемещение вверх. На глубине 60–30 км появляются линзовидные магматические очаги, где этот расплав накапливается. Такие очаги, экранирующие прохождение упругих волн, обнаружены сейсмическим просвечиванием и под Ключевской, и под Авачинской вулканическими группами. Очаги меньших размеров, но уже резко очерченные размещаются ближе к поверхности в фундаменте вулканических построек. Под Авачинским вулканом такой очаг на глубине 2–5 км не только оконтурен с помощью сейсмической томографии, но и отчетливо выявляется как при гравиметрических, так и магнитометрических наблюдениях.

Подобно Камчатке, на любом другом отрезке Тихоокеанского кольца корни действующих вулканов прослеживаются на глубину вплоть до зоны субдукции. При этом замечено, что условия субдукции от места к месту меняются. Различен возраст (а значит, и толщина, и температурные условия) подвигающейся океанической литосферы, различны скорости субдукции. В одних случаях, например под Марианской и Идзу-Бонинской вулканическими дугами, земная кора над зоной субдукции (в фундаменте вулкана) очень тонкая, сложенная железисто-магнезиальными породами. В других случаях, как, например, под Андами, она очень толстая, сложенная совсем другими породами, которые богаты кремнием и алюминием. Все это сказывается на характере вулканических извержений и составе изливаемых лав. Но геологические причины вулканизма по всему Тихоокеанскому кольцу сходны, они определяются субдукцией, направленной от океана под его обрамление.

От места к месту заметно меняется и угол наклона зоны субдукции. Вместе с тем остаются почти постоянными глубины, по достижении которых уходящая вниз литосфера дает начало магматическим очагам (чаще всего 100–200 км, как и под Камчаткой). Поэтому при больших углах наклона вулканический пояс образуется ближе к глубоководному желобу, от которого начинается субдукция, а при малых углах — дальше от него. Эти простые геометрические соотношения соблюдаются по всему Тихоокеанскому кольцу. На Камчатке расстояние от вулканического фронта до глубоководного желоба 180–200 км (см. рис. 2 и 3), для более крутой зоны субдукции Новых Гебрид — около 100 км, для пологой зоны субдукции Центральных Анд — около 300 км.

Таким образом, в наши дни Тихий океан с его непосредственным обрамлением работает как единая геологическая система планетарного масштаба, в которой кольцо активных вулканов занимает вполне определенное место. Поднимающиеся посреди океана под зонами спрединга, а затем расходящиеся потоки астеносферного вещества поддерживают разрастание океанической литосферы и ее переме-

щение к зонам субдукции на периферии океана. Там весь избыток новообразованной литосферы поддвигается под континентальное обрамление и поглощается на глубине. При этом от субдуцирующей литосферы отделяются и направляются вверх флюиды, которые вместе с тепловым потоком дают начало магматическим очагам и вулканам. Пока вся эта система действует, развивается и вулканическое огненное кольцо Тихого океана.

ИСТОРИЯ ВУЛКАНИЧЕСКОГО КОЛЬЦА НАЧИНАЛАСЬ НА ОБРАМЛЕНИИ СУПЕРКОНТИНЕНТА ПАНГЕЯ

Перенесемся в первую половину мезозойской эры, то есть приблизительно на 200–225 млн лет назад, — это небольшая часть известной геологической истории, насчитывающей более 4 млрд лет. В то время географическая картина Земли существенно отличалась от современной, все континенты были слиты в единый суперконтинент, охватывавший около 40% ее поверхности (рис. 4). К такому выводу еще в начале XX века пришел известный немецкий естествоиспытатель Альфред Вегенер (1880–1930), который назвал этот суперконтинент Пангеей (Единая земля). В дальнейшем при геологических, палеонтологических и геофизических исследованиях идея Вегенера получила убедительное подтверждение. Реконструкция Пангеи выдержала проверку (и уточнялась) по мере палеомагнитного изучения горных пород, позволяющего определять географическую широту каждого участка континентальной коры в момент образования породы, а также его ориентировку по сторонам света.

Размеры земного шара в начале мезозоя были почти такими же, как в наши дни. Поэтому окружавший Пангею единый океан Панталасса, охватывавший всю остальную поверхность планеты, по своим размерам был близок суммарной площади всех современных нам океанов. Огромный залив вдавался в суперконтинент между Евразией и Австралией, его называют океаном Тетис. В срединных хребтах Панталассы, так же как и в современном Тихом океане, происходило разрастание океанической литосферы от осей спрединга, и эта литосфера со всех сторон поддвигалась под Пангею, субдуцировала и поглощалась на глубине. В целом глобальную систему зон субдукции того времени можно уподобить гигантской воронке диаметром около 18 тыс. км.

По аналогии с геологической активностью наших дней можно полагать, что над зонами субдукции, окружавшими Пангею, развивались вулканы, сходные с современными вулканами Тихоокеанского кольца. Действительно, обнаружены мощные пояса вулканических пород, образовавшиеся в раннем мезозое на периферии суперконтинента. Они хорошо сохранились в виде сегментов, разобщенных при последующем распаде Пангеи и обособлении современных континентов. Такие вулканические

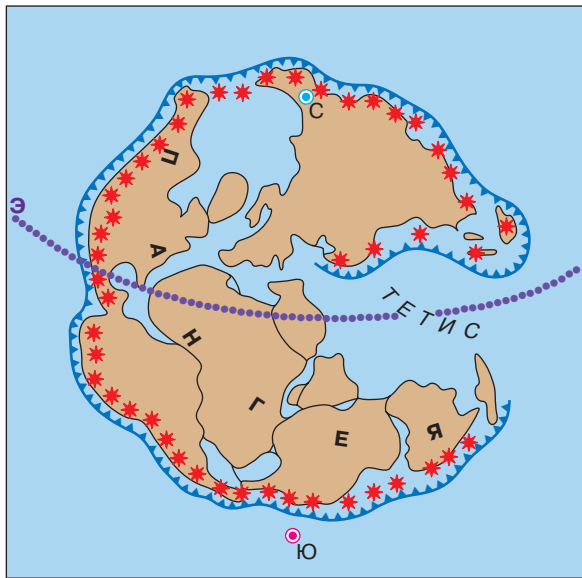


Рис. 4. Таким было вулканическое кольцо (красные значки) в раннем мезозое 200–225 млн лет назад, когда оно обрамляло суперконтинент Пангея. Линии с зубцами – зоны субдукции, окружающие суперконтинент; океаническая литосфера со всех сторон пододвигалась под его окраины, где формировались очаги магмы, а над ними – цепи вулканов. С – северный полюс, Ю – южный полюс, Э – линия экватора в раннем мезозое

пояса прослежены на востоке Австралии и в Новой Зеландии, в Антарктиде, Андах и Кордильерах, вдоль восточных окраин Азии и в Средиземно-морско-Гималайском складчатом поясе. По этим сегментам восстановлено вулканическое кольцо Пангеи, которое, подобно обручу, охватывает составленную из отдельных частей реконструкцию суперконтинента (см. рис. 4).

Лучше других сохранился тот сегмент вулканического кольца Пангеи, который находится на андской окраине Южной Америки в Перу и Чили. Это мощные наслоения излившихся лав, пеплов и других продуктов вулканических извержений, происходивших в начале мезозоя на побережье или в мелком море, затопившем окраину суперконтинента. В толщах горных пород различимы отдельные вулканические постройки, а в ущельях рек бывают вскрыты даже магматические очаги, располагавшиеся в фундаменте древних вулканов. Очаги уже давно застыли, раскристаллизовались и превратились в массивы горных пород из семейства гранитов.

Известно, что во второй половине юрского периода Пангея начала распадаться. Ее пересекли разломы и расщелины, так называемые рифты, а разделенные ими части суперконтинента начали расходиться, удаляясь одна от другой. При этом на месте рифтовых расщелин начинался спрединг, шло новообразование океанической литосферы, постепенно за-

полнявшей пространство между расходящимися континентами. Так один за другим обособлялись знакомые нам современные континенты, все они представляют собой фрагменты Пангеи. Последним (всего лишь 5 млн лет назад) отделился континентальный блок Аравийского полуострова, который до образования расщелины Красного моря принадлежал Африканскому континенту. По мере центробежного перемещения фрагментов Пангеи между ними раскрывались Атлантический и Индийский океаны с их ответвлениями, одно из которых прослеживается в Северном Ледовитом океане. Площадь Панталассы соответственно сокращалась, а то, что осталось, мы и называем Тихим океаном.

При распаде Пангеи обрамлявшее ее кольцо зон субдукции и вулканизма оказалось разорванным. В ходе центробежного движения каждый континент как бы наезжал на свой отрезок субдукционного кольца, отодвигая его. Поэтому на фронтальной стороне расходящихся континентов субдукция продолжалась, не прекращался вулканизм. Так, после распада кольца Пангеи обособились, но продолжали действовать вулканический пояс Кордильер Северной Америки и сходный с ним пояс Анд.

На активной окраине Азии мелового времени таким же образом формировался Охотско-Чукотский вулканический пояс, известный своими рудными месторождениями. Длинной более 3000 км и шириной 100–300 км он протянулся вдоль всего Хабаровского края. По размещению магматических пород пояса и особенностям их состава были определены угол наклона и другие характеристики ушедшей под него зоны субдукции. Этот вулканический пояс отмер в палеогене, когда со стороны океана к азиатской континентальной окраине причленились складчатые сооружения Корякского нагорья и Камчатки. Вместо него над зоной субдукции образовалась Курило-Камчатская вулканическая дуга, действующая до наших дней.

По мере центробежного перемещения континентов все дальше отодвигались как зоны субдукции, так и фрагменты распавшегося вулканического кольца Пангеи. Со временем, пройдя линию большого круга Земли, они оказались на противоположной стороне земной сферы и, продолжая встречное движение, стали там сближаться (рис. 5). Наступая со всех сторон на пространство, оставшееся от Панталассы, они замкнули его. Так определились контуры современного Тихого океана, а из отдельных вулканических поясов сложилось Тихоокеанское огненное кольцо, впрочем все еще не полностью сомкнувшееся. Таким образом, по своему происхождению Тихоокеанское кольцо представляет собой как бы вывернутое наизнанку вулканическое кольцо Пангеи. В этом можно убедиться, сравнив рис. 4 и 1.

На всем протяжении долгой истории Тихоокеанского вулканического кольца подъем и извержение

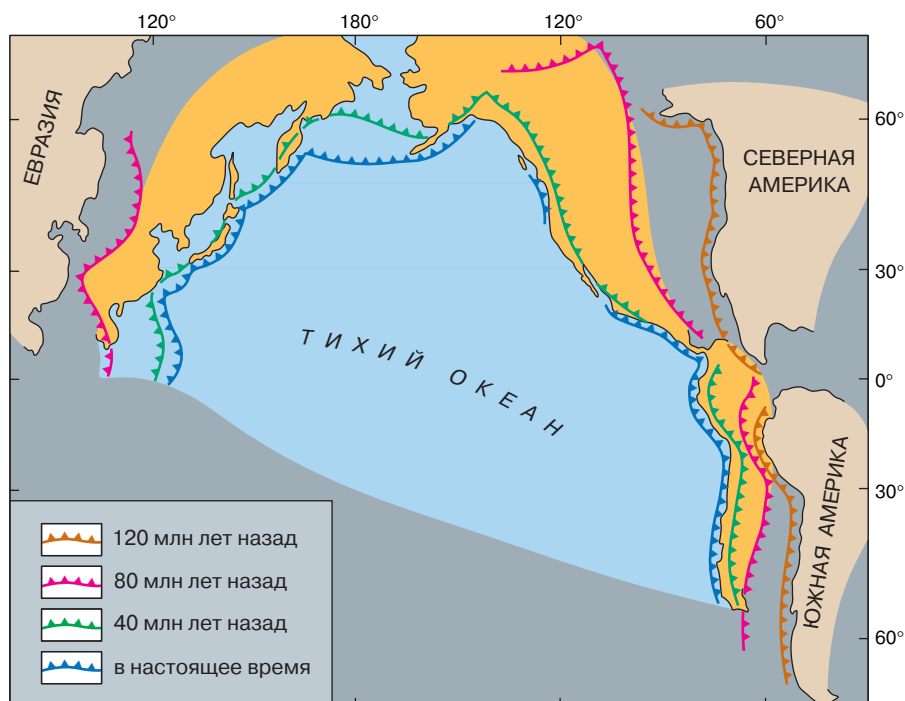


Рис. 5. Последовательное сокращение Тихого океана за последние 120 млн лет, с раннемелового времени (по З. Гарфункелю и др.). По мере распада суперконтинента Пангея происходило центробежное перемещение его частей (континентов) вплоть до их сближения на другой стороне земной сферы – на тихоокеанском обрамлении. Сокращение Тихого океана и его вулканического кольца продолжается до сих пор. Линии с зубцами – положение границ Тихого океана (зон субдукции) в разные моменты времени

магматических расплавов сопровождалась выносом и концентрацией многих ценных для человека химических элементов. Не случайно именно вокруг Тихого океана – от Чили и Боливии до Индокитая и Чукотки – разместились важнейшие месторождения меди, свинца, цинка, олова, молибдена, вольфрама, серебра, золота. Формирование этих месторождений, начавшееся еще на обрамлении Пангеи, шло затем в самостоятельных вулканических поясах каждого из континентов, а в дальнейшем на обрамлении Тихого океана.

БЛИЖАЙШЕЕ И БОЛЕЕ ОТДАЛЕННОЕ БУДУЩЕ ТИХООКЕАНСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО КОЛЬЦА

Распад Пангеи и центробежное перемещение ее фрагментов продолжают в наши дни. Поэтому континенты, окружающие Тихий океан, все еще наступают на него, а тихоокеанское вулканическое кольцо сокращается. Движения происходят из года в год, изо дня в день, их направление и скорость определяются не только геологическими методами, но и непосредственно путем геодезических наблюдений. Постоянную информацию об этих перемещениях континентов дает Глобальная система местопределения (GPS – от англ. Global Positioning System), хорошо известная не только геодезистам,

но и путешественникам. Благодаря ей, используя спутники Земли, можно определить географические координаты любой точки. При специальных многократных определениях для одной и той же точки за несколько лет получают результат достаточно точный для того, чтобы уловить и измерить даже такие перемещения, которые происходят со скоростью всего лишь несколько сантиметров в год.

Оказалось, что и в настоящее время сохраняются приблизительно те же направления и скорости движений, что были установлены геологами для последних трех миллионов лет (см. векторы на рис. 1). Быстрее всего наступают на Тихий океан Северная Америка (около 2,5 см/год) и Южная Америка (около 3,5 см/год). Австралия перемещается даже с большей скоростью (до 7,5 см/год), но под острым углом к границе с океаном. Антарктида тоже наступает, но очень медленно (1 см/год и менее). Только Евразия почти не смещается и даже, вероятно, немного отступает от океана в северо-западном направлении.

Зная эти скорости, нетрудно рассчитать, где окажутся континенты через 10 или 20 млн лет (подобные карты уже не раз публиковались) и какими будут к тому времени очертания Тихого океана. Однако главное условие такого расчета – постоянство направления и скорости движения литосферных

плит – противоречит геологическим реальностям. Поэтому подобные построения приблизительны и имеют смысл для некоего ограниченного отрезка времени.

Можно полагать, что дальнейшее встречное движение континентов тихоокеанского обрамления, обусловленное распадом Пангеи, уже не будет длительным (в геологическом масштабе времени). Такое суждение основывается на представлениях о развитии Земли, согласно которым образование и распад суперконтинентов происходили уже несколько раз с определенной периодичностью [3]. Полная длительность этапов распада суперконтинентов лучше всего известна для предыдущей Пангеи – около 200 млн лет (поздний рифей – венд). Современный нам незавершившийся этап распада последней Пангеи начался уже 165–170 млн лет назад и, вполне вероятно, близок к своему завершению.

Есть некоторые признаки близости предстоящего перехода от распада Пангеи к новому объединению континентальных единиц. Главный из них – зрелость раскрывающихся межконтинентальных океанов, особенно Атлантического. Нараставшие с возрастом толщина и плотность подстилающей их литосферы местами приближаются к тем критическим значениям, при которых океаническая литосфера потеряет свою плавучесть и начнет погружаться в подстилающую астеносферу. Это будет способствовать прекращению раскрытия межкон-

тинентальных океанов и создаст механизм для их сокращения.

Вполне вероятно, таким образом, что через несколько десятков миллионов лет тихоокеанское вулканическое кольцо, к тому времени более сжатое и полное, будет разорвано на самостоятельные сегменты. Эти сегменты начнут удаляться один от другого вместе со своими континентами, которые будут двигаться к центру объединения новой Пангеи.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Апродов В.А.* Вулканы. М.: Мысль, 1982. 367 с.
2. *Короновский Н.В., Якушова А.Ф.* Основы геологии. М.: Высш. шк., 1991. 416 с.
3. *Мерфи Дж.Б., Ханс Р.Д.* Горные пояса и суперконтинентальный цикл // В мире науки. 1992. № 6. С. 22–30.
4. *Ушаков С.А., Ясаманов Н.А.* Дрейф материков и климаты Земли. М.: Мысль, 1984. 206 с.
5. *Хаин В.Е.* Силы, создавшие неповторимый облик нашей планеты // Соросовский Образовательный Журнал. 1998. № 11. С. 103–110.

* * *

Михаил Григорьевич Ломизе, доктор геолого-минералогических наук, профессор геологического факультета МГУ. Область научных интересов – строение и происхождение горных сооружений, участие вулканизма в их формировании. Автор около 130 научных работ, в том числе трех монографий.