



DE RERUM NATURA¹ И БОЛЬШАЯ ТЕОРИЯ

НЕОБХОДИМОСТЬ ОБЩЕЙ КОНЦЕПЦИИ ДЛЯ ПОВСЕДНЕВНОЙ РАБОТЫ

Любому исследователю для плодотворной работы необходимо знать место, которое занимает его материал в общей концепции активности планеты. Поэтому вопросы общей геодинамики различных геотектонических систем Земли являются насущной необходимостью и обычно стоят в центре любого конкретного исследования.

Прошло более 40 лет со времени появления геофизической гипотезы тектоники плит и ее быстрого (4 года) и широкого распространения в США и странах англоязычного мира [Жирнов, 2009]. Сначала в геологических кругах СССР она не получила признания, но широко публиковалась, обсуждалась и даже нашла себе некоторых активных почитателей и последователей в геологических учреждениях Российской Академии наук. Во многих из них, в том числе и в редакциях геологических журналов эта концепция приобрела статус официальной господствующей парадигмы и стала рассматриваться как наиболее верная и всеобъемлющая теория. Преобладание ее сторонников в руководстве геологических институтов и научных журналов позволяет препятствовать публикации противоречащих ей данных и представлений, либо замалчивать их в случае опубликования.

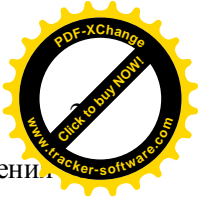
Как отмечает В. Т. Фролов, гипотеза тектоники плит «откровенно слаба, методологически беспомощна и ...неконкурентна с более ранними и новыми разработками.... российских геологов. Чем больше обнаруживается несоответствий тектоники литосферных плит геологическим фактам и геологической истории земной коры, тем настойчивее приверженцы насаждают ее, пользуясь и недозволенными приемами – запретительством и цензурой [Фролов, 2004, стр. 6]. Оценить такое положение можно, представив, сколько усилий требовалось авторам, чтобы преодолеть заслоны отрицательных рецензий адептов новой религии. Работа одного сотрудника объединения Красноярскгеология (не помню имени автора, да оно тут и не важно!) была издана в Греции в переводе на греческий язык и лишь несколько лет спустя объединение смогло издать ее за свой счет на родине.

Огромный, можно сказать ошеломительный, успех гипотезы (вскоре провозглашенной теорией) тектоники плит был вызван рядом причин:

1. Ее универсальностью. Она связывала в единой модели петрологию, геофизические данные о глубинном строении коры и мантии, данные структурной геологии;
2. Подтверждением данными точных наук, что всегда производит совершенно завораживающее действие на геологов;
3. Простотой предлагаемых решений. Геологи устали от множественности проблем и их нерешимости.

Со временем, однако, дело осложнилось. Во первых не так просто обстояло дело с физическими основами. В. В. Кузнецов оспаривает, что ядро Земли сложено самородными металлами, и говорит о том, что конвекция в твердой мантии невозможна – эти два положения лежащих в основе теории плит [Кузнецов, 2000] тем самым как бы соглашались с высказанным ранее выводом [Мартьянов, 1968], что «Твердость Земли исключает возможность перемещения масс в ее внутренних областях. Для того чтобы могли осуществляться подкоровые течения или гравитационная дифференциация вещества, его необходимо прежде всего расплавить, и, следовательно, если даже допустить, что подобные перемещения масс имеют место, то их следует рассматривать не как источник, а как потребитель энергии Земли» Достаточно быстро было накоплено значительное количество данных, находящихся в полном несоответствии с теоретическими положениями теории тектоники плит. Назревшая необходимость дискуссии о степени соответствия конкретных данных по геологии различных районов диктуется ростом количества работ, посвященных критике теории тектоники плит. Как показывает проведенный А. Ю. Антоновым [Антонов, 2009] анализ, основанный на данных российского реферативного журнала (РЖ) за 2005-2007 годы, по сравнению с 2005 годом количество публикаций посвященных этой проблематике, выросло в 2007 году почти вдвое, хотя и в предшествующие годы оно было тоже высоко. При этом в сводке используется материал по тектонике и магматизму самых различных регионов: бассейну Тихого океана и стран его обрамления, Уралу, Монголии, Кавказу, Альпийско-Гималайскому поясу. Хотя авторы этих статей сошлись на том, что

¹ О природе вещей (лат.) Название книги римского поэта и философа Лукреция (99-55 гг. до н.э.)



имеющегося материала недостаточно для однозначного решения проблемы происхождения механики тектонической активности, их объединяет твердое убеждение в несостоятельности концепции тектоники плит для решения существующих проблем. В дополнение к статьям, базирующимся на материале конкретных районов, характерно появление обобщающих исследований, в которых прямо говорится о том, что накоплен большой материал о структуре земной коры и верхней мантии, который трудно объяснить с позиций тектоники плит [Павленкова, 2006, Пушаровский и Пушаровский, 2006]. Отмечается, что внезапное начало активности, глобальная синхронность и горизонтальные движения в верхней части коры, затухающие с глубиной, - все то, с чем мы сталкивались при изучении геодинамики и магматизма платформ [Эрлих, 2015], очень трудно объяснить с точки зрения тектоники плит. Статья Ю.М. Михалева [Михалев, 2005], содержащая критику всех положений тектоники плит, по справедливому замечанию А. Ю. Антонова [Антонов, 2009], свидетельствует об общем кризисе данной парадигмы.

За время существования теории плит была создана целая серия ее модификаций в результате чего любая попытка оспорить основы теории наталкивается на возражение, что критики рассматривают «не ту ее версию».

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

Геологической основой теории плит является «парность» расположения образующих их геотектонических систем – срединноокеанических хребтов и островных дуг. При этом дело тут не в формальной необходимости сочетания их, а в том, что именно спрединг, генерируемый в срединноокеанических хребтах, создает усилие, обеспечивающее субдукцию в островных дугах, что и обеспечивает работу всей системы. Однако очевидно, что островные дуги отнюдь не всегда сочетаются со срединноокеаническими хребтами [Шейнманн, 1966, Эрлих, 1973]. В то время как срединноокеанические хребты развиты в Атлантическом секторе, островные дуги здесь отсутствуют. Они развиты лишь на Тихоокеанском побережье Азии в прилегающей части океана расположено лишь Восточно-Тихоокеанское поднятие – оно же не имеет отношения к побережью Азии, а относится, как известно, к Северной Америке.

Сводки геолого-геофизических данных по мобильным тектоническим поясам [Эрлих, 2012] и платформам [Эрлих, 2016] дают большой материал для проверки общих геотектонических концепций. В этом смысле можно говорить, что общие геотектонические теории могут быть отточены на оселке данных по конкретным структурам.

На фоне многочисленных противоречий между фактическими геолого-геофизическими данными и тектоникой плит продолжение обсуждения противоречивых геологических данных по конкретным районам представляется малопродуктивным. Центр внимания должен быть перенесен на физическую природу двух процессов, определяющих тектонику плит – спрединга в срединноокеанических хребтах и субдукции в островных дугах и сходных с ними тектонических системах (типа Камчатки или Тайваня), используя классификацию, предложенную в [Эрлих, 1973].

Ниже проводится дискуссия только по коренным вопросам геодинамики, связанным с гипертрофированным значением, придававшееся геодинамическим результатам исследований, в первую очередь интерпретации природы сейсмофокальной зоны Вадати-Бениоффа. Глубоководные желоба, которые находятся на фронте сейсмофокальной зоны, стали рассматриваться как структуры, образовавшиеся в процессе сжатия, в то время как данные структурной геологии конкретных районов прямо свидетельствуют, что они формируются в условиях растяжения. То же относится к формированию спилито-кератофирового комплекса [Антонов, 2009], обычно рассматриваемому, как одна из основ тектоники плит.

В настоящей работе мы рассматриваем соотношения современных геолого-геофизических данных и тектоники плит по следующим аспектам и с разных точек зрения:

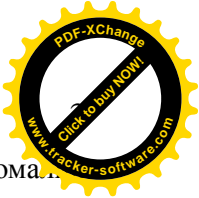
1. КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЙ ПО СЕЙСМОФОКАЛЬНЫМ ЗОНАМ ПО ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

1.1. Основные разломы и природа сейсмофокальных зон

Материал о разломной тектонике островных дуг и сходных с ними геотектонических систем сведен в [Эрлих, 2012].

Ключом к расшифровке геодинамики островных дуг и сходных с ними геотектонических систем являются их геофизические характеристики. Две важнейших из них:

1). Полоса отрицательных изостатических аномалий поля силы тяжести, протягивающаяся от глубоководного желоба до собственно островной дуги;



Вдоль желобов вытягивается пояс интенсивных отрицательных изостатических аномалий силы тяжести (пояс Венинг-Мейнеца). Образование его долгое время объяснялось наличием прогиба земной коры — тектогена, заполненного мощными толщами осадков. Дж. Уэрзел [Уэрзел, 1970] показал, что, если в переходной области между блоками континентальной и океанической коры блок шириной 50—200 км опускается на 2—4 км по сбросам или сбросам и флексурам, возникает рельеф океанического желоба и связанная с ним гравитационная аномалия.

Всему пространству между стороной желоба, обращенной к островной гряде, и внешней грядой, включая и саму эту структуру, по данным глубинного сейсмического зондирования, соответствует зона резкого возрастания мощности коры, в основном за счет ее базальтового слоя. На Курильской дуге прогибу поверхности М соответствует прогиб осадочного чехла. Однако здесь наблюдаются резкие различия амплитуд прогибания: если максимальные прогибы осадочного чехла не превосходят по амплитуде 8—10 км, то на поверхности М они достигают 16—20 км, т. е. здесь величина прогибания вдвое больше [Марков, 1975].

При всем различии положения островных дуг (будь то внутриконтинентальные и внутриокеанические подвижные пояса или геотектонические системы в переходной зоне океан-континент) их главной характеристикой фокальной зоны является неравновесность поля силы тяжести. Не случайно после изобретения выдающимся голландским геофизиком Ф. Венинг Мейнецом маятникового гравиметра (1928 год). С 1929 года он начал с подводных лодок с помощью нового прибора, измерения поля силы тяжести вдоль системы островных дуг. В итоге было открыто, что между глубоководными желобами и геоантиклинальной системой внешней дуги протягивается имеющая глобальный размах полоса интенсивных отрицательных аномалий поля силы тяжести. Величие этого ученого в том, что он прошел весь путь к Открытию, от постановки задачи крещению: создал измерительный инструмент, провел подводную гравиметрическую съемку (впервые в мире) и в ходе ее открыл планетарный пояс аномалий силы тяжести, расшифровав его значение, сделал его ключом к тектонической теории.

Неравновесность поля силы тяжести ярчайшим образом выражена во впадинах глубоководных желобов, расположенных на фронте систем островных дуг и не компенсированных осадками. То же происходит и в частично компенсированных осадочными толщами передовых прогибах на фронте внутриконтинентальных линейных горных поясов типа Гималаев. Пояс аномалий поля силы тяжести располагается в пограничной зоне между дугой и соседним тектоническим блоком, которым в значительной числе случаев является океаническая плита, по границе с которой располагаются наиболее яркие физиографические элементы островных дуг - глубоководные желоба. Аномалии характеризуют переходную зону между собственно островной дугой и глубоководным желобом. Они протягиваются вдоль внешнего края дуги Суматра-Ява, вдоль Пуэрто Рико, по дуге Южных Сандвичевых островов. Всюду они или совпадают с глубоководными желобами, или идут по их краю. Недаром измерения, сделанные Ф. Венинг Мейнецом, проводились между Суматрой и находящимся на фронте этой геотектонической системы глубоководным желобом. С тех пор гипотеза изостазии стала исключительно популярной, и ее использовали для обоснования всех геотектонических гипотез – контракции, геосинклиналей, а позднее и тектоники плит. Неумеренное использование гипотезы неизбежно привело к ее ошибочному применению и, соответственно, к разочарованию в ней (полная аналогия с судьбой другой выдающейся геологической гипотезы – канона Штилле). С ней, в частности, связана и гипотеза подкорковых течений, разработанная Венинг Мейнецом (Венинг Мейнец, 1957). В соответствии с этой гипотезой всасывание ведет к сжатию выполняющих геосинклиналь отложений и к формированию складок и шарьяжей, которые, согласно данной гипотезе, являются скорее поддвигами, чем надвигами. Над участками расхождения восходящих течений наблюдается не сжатие, а, наоборот, растяжение, сопровождаемое разрывами, и, по мнению части сторонников данной гипотезы, растаскиванием материковых массивов, разделенных глубинными разломами на отдельные глыбы. Гипотеза подкорковых течений рассматривает деформации земной коры, как следствие движения глубинного вещества. Конвекция в мантии является аналогом тех движений, которые с гораздо большей скоростью происходят в подвижных оболочках Земли — атмосфере и гидросфере. Здесь конвекционным потокам отводится важнейшая роль в переносе тепла и громадных масс вещества. По отношению к медленно действующим силам вещество мантии Земли ведет себя, как вязкая жидкость. Скорость перемещения при большой вязкости становится незначительной, порядка одного или нескольких сантиметров в год [Нехорошев, ред., 1973].



2). Сейсмофокальная зона – пластина, в пределах которой концентрируются многочисленные гипоцентры землетрясений. По другим представлениям [Кузин. 1974], сейсмофокальная зона – это область концентрации землетрясений, располагающихся на границе континентального и океанического блоков коры и мантии. Детальные сейсмические исследования говорят о том, что фокальная зона выходит на поверхность в верхней или средней части континентального склона желобов вблизи изобаты 1000 метров. Глубина их возрастает по падению пластины, т. е. по мере удаления от границы глубоководного желоба в сторону впадин окраинных морей, где она достигает 400-600 км. Внешняя граница пластины совпадает с границей желоба, внутренняя - с границей поясом аномалий поля силы тяжести. Таким образом, эта последняя граница выступает как важнейшая структурная линия, глубинный разлом, движения по которому определяют геологию островной дуги.

Общепризнанно, что геотектонические системы островных дуг в первую очередь отражают надвиги, выраженные по границе в форме сейсмофокальных зон. Движения по надвигам, как известно, неразделимо связаны со сдвиговыми дислокациями. Однако сам факт локализации геотектонических систем островных дуг вдоль линеаментов, генерируемых ротационными процессами, показывает преимущественно сдвиговую природу движений по простиранию линеаментов. Убедительным подтверждением примата сдвиговых дислокаций является, с одной стороны, повсеместно выраженная тенденция к развитию геотектонических систем островных дуг по простиранию, а с другой – рисунок пространственного распределения на островных дугах структур второго порядка — цепочек вулканов (вдоль трещин отрыва) и поднятых блоков дочетвертичного фундамента, соответствующих месту складок волочения.

Анализ геодинамики в пределах самих островных дуг, как правило, опирается на гипертрофированные оценки роли движений по зонам Бенюффа, рассматривавшейся как надвиговая система. Формальный анализ геометрических параметров зоны Бениоффа подменил рассмотрение динамики соотношения реальных движений разного рода разломов в пределах островных дуг и сходных с ними геотектонических систем. Прежде всего это так называемые «основные системы разломов». Поскольку на собственно островных дугах площадь суши невелика, то восстановить полную картину разломной тектоники и геодинамики становится возможным только в пределах поднятых блоков геотектонических систем типа Камчатки (Япония, Камчатка, Суматра, Филиппины, Северный остров Новой Зеландии) или Тайваня (Новая Гвинея, Тайвань, Южный остров Новой Зеландии).

Признание преимущественно сдвиговой природы геотектонических систем островных дуг открывает возможность реконструкции характера движений не только на Камчатке по рисунку пространственного распределения преобладающих приразломных структур. С учетом преобладания сдвиговых деформаций вдоль оси простирания тектонических систем находят объяснение постоянная тенденция развития островных дуг вдоль по простиранию.

Так рисунки 1,2 и 3 показывают пространственную плотность землетрясений (портреты сейсмичности) и миграцию зон эпицентров землетрясений во времени (по пятилеткам) вдоль восточного побережья Камчатки по простиранию сейсмофокальной зоны, что указывает на неоднозначность временных и пространственных процессов сейсмичности на Камчатском участке Курило-Камчатской островной дуги.

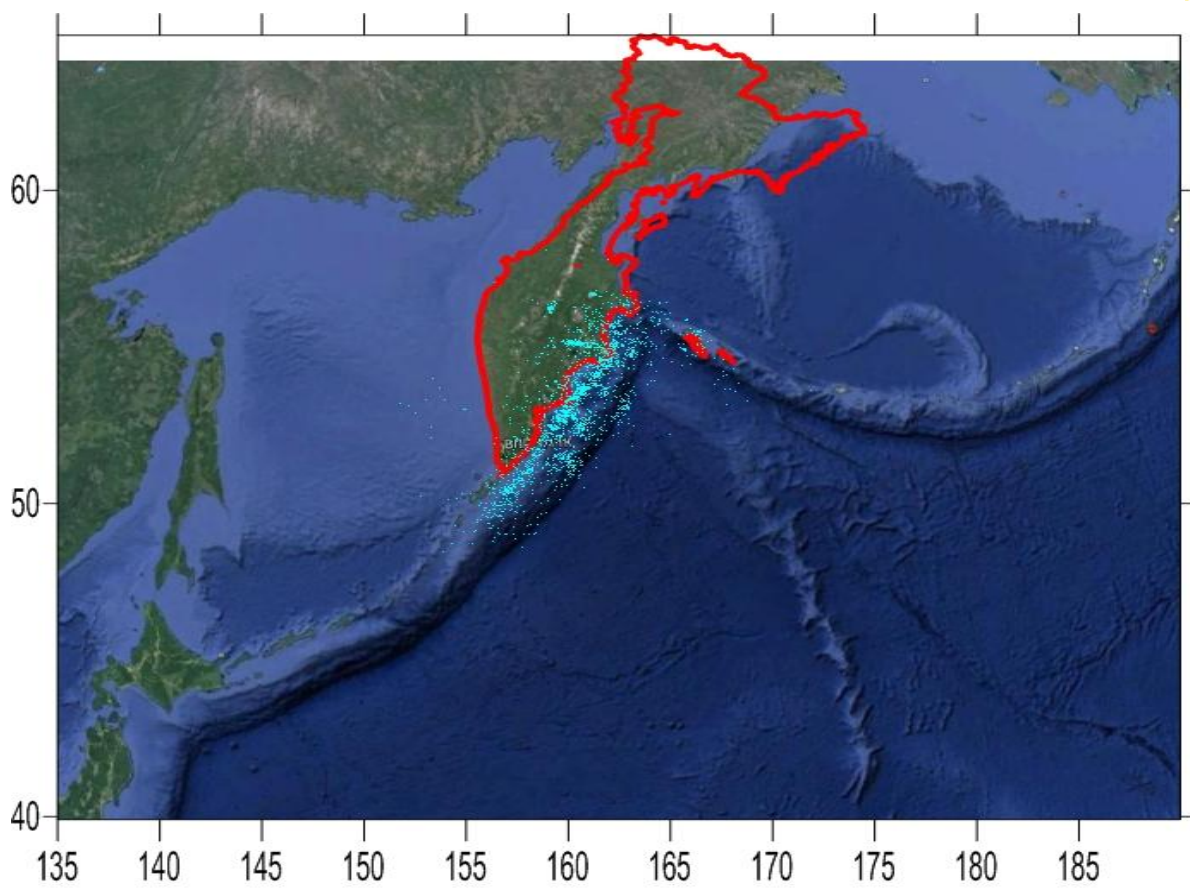


Рис.1. Эпицентры землетрясений за период 1965-1969 годов. ($K_s= 5-18$, $h = 0-700$ км).

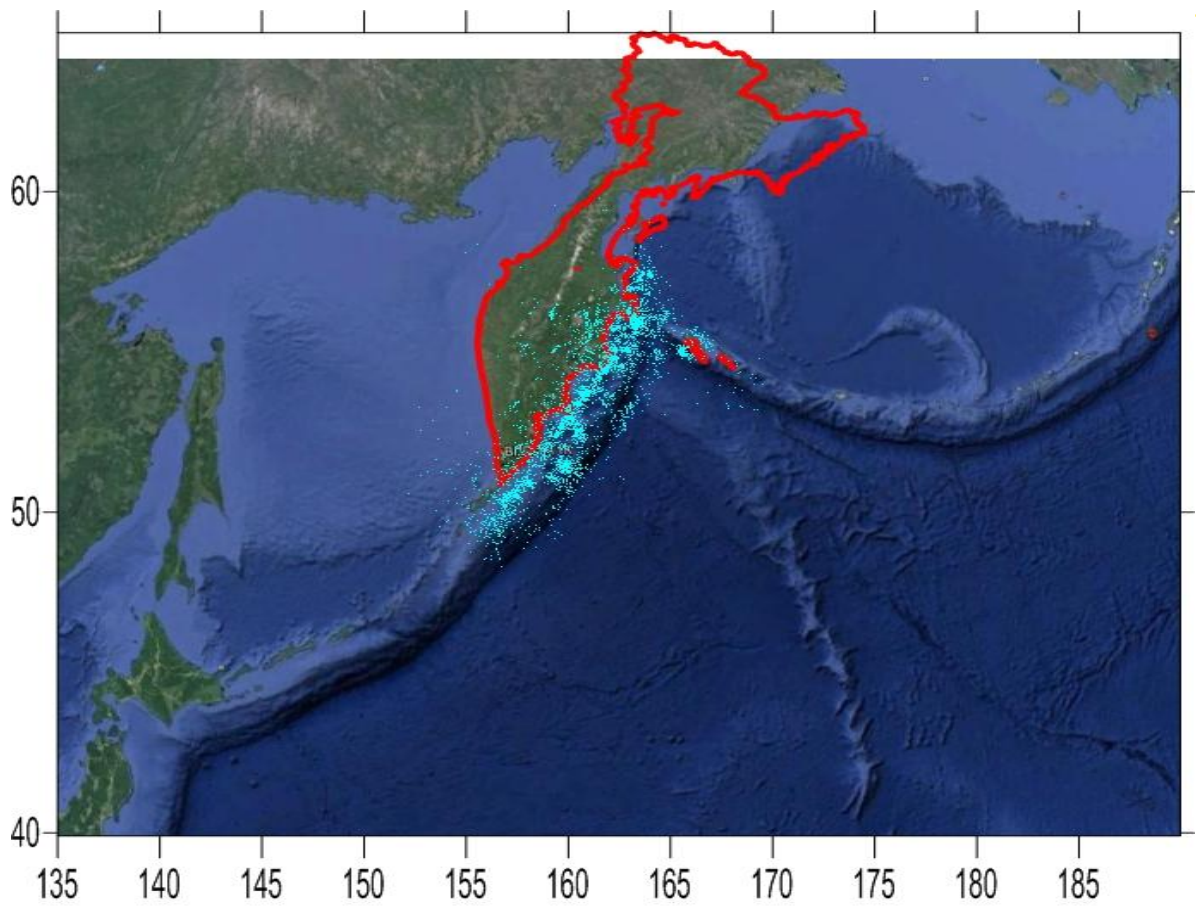
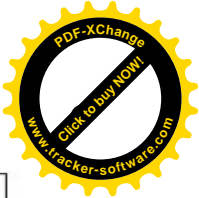


Рис.2. Эпицентры землетрясений в период 1990-1994 годов. ($K_s = 5-18$, $h = 0-700$ км).

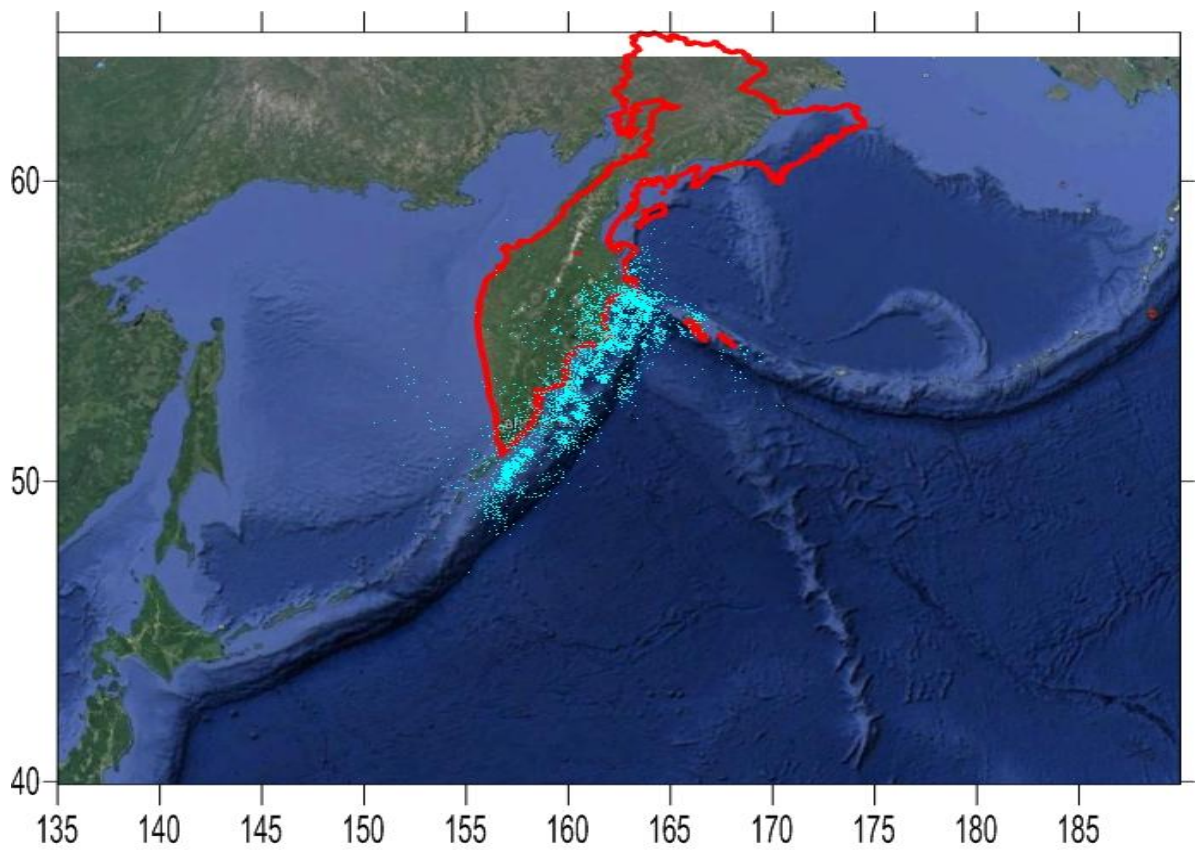


Рис 3. Эпицентры землетрясений за период 2000 – 2014гг. ($K_s = 5-18$, $h = 0-700$ км)



По предложенной А. В. Тевелевым [Тевелев, 2003] классификации большая часть основных разломов относится к кососекущим сдвигам. В самом деле, Альпийский разлом Новой Зеландии с одной стороны продолжает разлом Маккуори, идущий вдоль одноименного подводного хребта, а с другой стороны под острым углом сечет структуры фронта Северного острова, проходящего параллельно депрессии Хикуранги играющей роль глубоководного желоба (рис. 4).

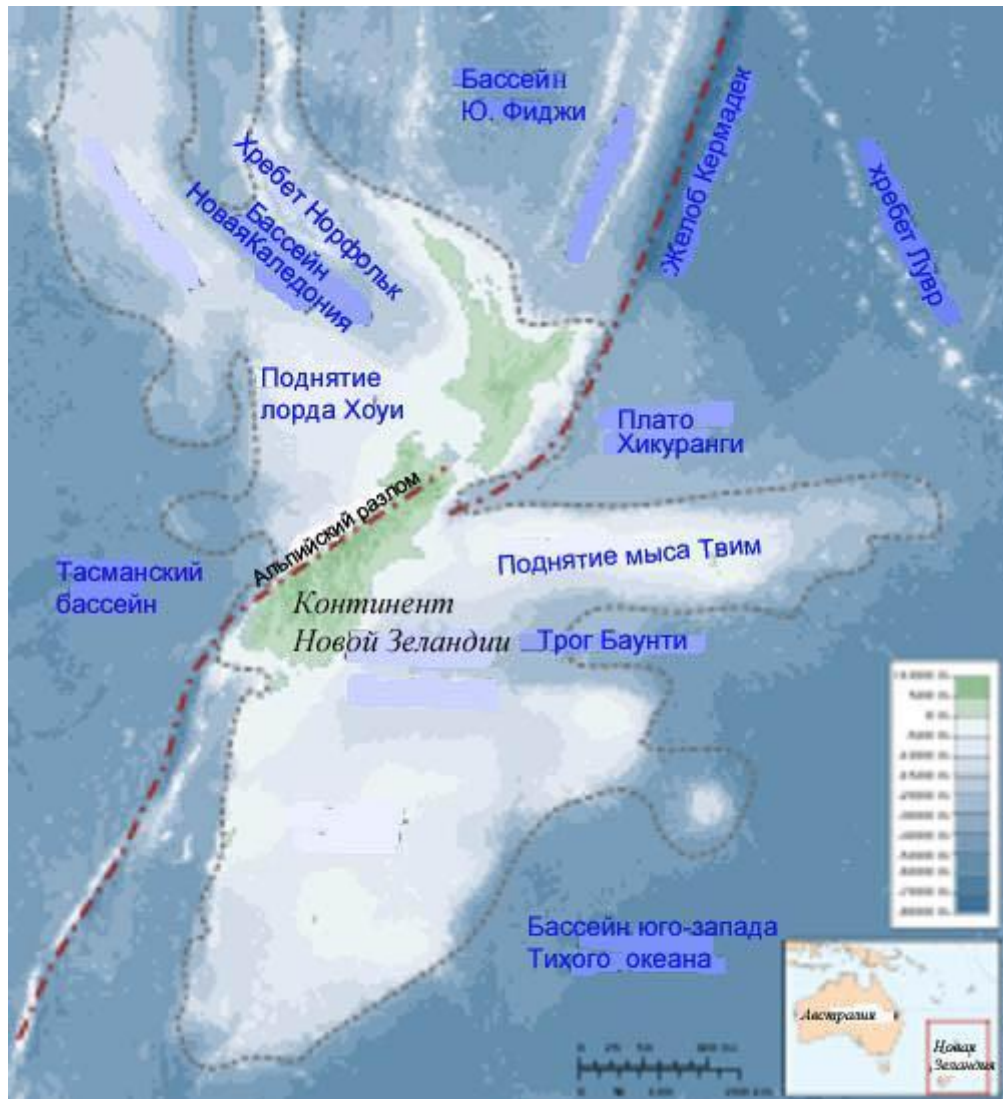
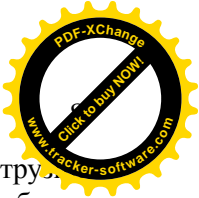


Рис. 4. Кососекущий характер Альпийского разлома Новой Зеландии [Wellman, 1944].

Таким образом, изменение глубины очагов землетрясений в подвижных областях отражает возрастание и последующее затухание активности различных дискретных уровней астеносферы. Кососекущий характер «основных разломов» характерный для геотектонических систем сходных с островными дугами типа Камчатки или Южного острова Н. Зеландии по сравнению с общим простираем той или иной островной дуги является следствием блокового строения сейсмофокальных зон.

Во всех этих геотектонических системах описаны так называемые «основные разломы». Исключением является Камчатка. Между тем разлом, имеющий все характеристики, присущие Альпийскому разлому Новой Зеландии, рифту Семангко Суматры, Медиан Лайн Японии определяет орографию Восточного хребта Камчатки (см. рис. 8). Эти разломы разделяют парную систему метаморфических поясов Юго-Западной Японии Риоке-Самбагава, разделенных разломом Медиан Лайн [Miyashiro, 1961, Nattori, 1968]. В соответствии с идеей парных метаморфических поясов оба их элемента образуются одновременно. К северу от Медиан Лайн располагается метаморфический пояс Риоке, в пределах которого развиты слюдястые сланцы и гнейсы, биотитовые амфиболиты, сопровождающиеся небольшим количеством амфиболовых сланцев,



амфиболитов и гнейсов. В зоне высоких степеней метаморфизма близ разлома и вокруг интрузий присутствуют силлиманит, андалузит, кордиерит. В зоне низких степеней метаморфизма наиболее характерным минералом является хлорит. К югу от Медиан Лайн расположен метаморфический пояс Самбагава. Здесь, в зоне высоких степеней метаморфизма, проявляется фация зеленых сланцев, редко эпидот-амфиболитовая. В некоторых породах присутствуют жадеит и глаукофан. Контакт со слабо метаморфизованными породами обычно проходит по сбросам, редко наблюдаются постепенные переходы. Метаморфизм развит, в основном, в палеозойских толщах, но последние исследования показали, что область низких степеней метаморфизма пояса Самбагава охватывает породы комплекса Шиманто (верхняя юра-палеоген). Обстановка общего сжатия во внешнем геоантиклинальном поясе приводит к его малой проницаемости для гидротерм. Этим объясняется резко пониженная величина теплового потока в пределах этой (передовой) зоны. Напротив, тыловая зона характеризуется обстановкой общего растяжения. Для нее типичны повышенные значениями теплового потока. Именно здесь располагаются вулканические пояса и многочисленные проявления современных гидротерм. Базу для подхода к проблемам магматизма и тектоники с точки зрения оценки их энергетики создает рассмотрение вопросов генерации теплового потока [Белоусов, Эрлих, Тепло Земли, 2010].

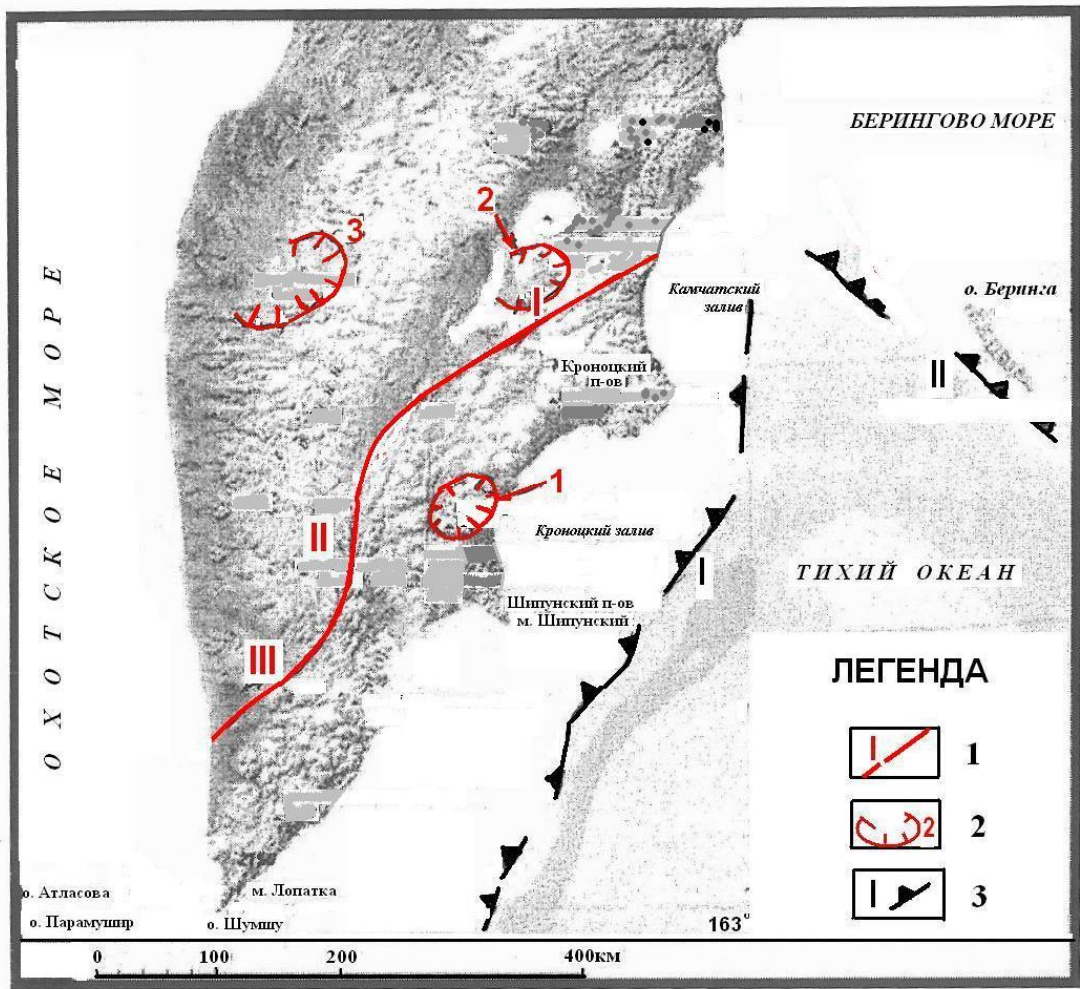


Рис. 5. Общая рисовка Главного Камчатского сдвига и положение вулканотектонических структур, связанных с базальтовым вулканизмом.

1. Главный сдвиг Камчатки. I – участок разлома к северо-востоку от Кроноцкого полуострова с предполагаемыми преимущественно сдвиговыми дислокациями; II – участок разлома к востоку от грабена верховой р. Камчатка с преимущественно сбросо-сдвиговыми движениями; III – участок вдоль долины р. Быстрой с предполагаемым преимущественно-сдвиговым характером дислокаций; 2 – разломы обрамления вулканотектонических структур, связанных с базальтовым вулканизмом: 1 – Карымско-Жупановская вулканотектоническая структура (Восточно-Камчатская вулканическая зона), 2 – Толбачинская вулканотектоническая структура (Центральная Камчатская депрессия; 3 – Ичинская вулканотектоническая структура



(вулканическая зона Срединного хребта); 3 – Зона выхода на поверхность Курило-Камчатская сейсмофокальная зоны (I) и Командорской ветви Алеутской сейсмофокальной зоны (II).

Разлом состоит из трех фрагментов, северного и южного, имеющих простирание северовосток 30° , следующих вдоль долин рек и центрального фрагмента участка Восточного хребта субмеридионального простирания. Таким образом он имеет тот же кососекущий характер по отношению к основным морфоструктурам полуострова, что и основные разломы других районов (см. рис. 5 - Альпийский разлом Новой Зеландии).

Из рассмотрения генезиса теплового потока следует вывод о его инерционности и практическом постоянстве во времени, что противоречит установленному пульсационному характеру геологических процессов.

В середине XX века канон Штилле был блестяще подтвержден радиологическими датировками комплексов изверженных пород [Рубинштейн, 1967]. В итоге было установлено, что продолжительность пульсов повышенной магматической и тектонической активности составляет всего 1-2 млн. лет. Проверка распределения во времени самых молодых извержений была проведена с использованием каталогов датировок извержений [Влодавец, 1966, Широков, 2008, Земцов, Тронь, 1985]. Представляется, что одной из перспективных идей в этом направлении может послужить отмеченное В. И. Белоусовым [Белоусов, 2010] различие между инерционным региональным тепловым потоком и пульсационным характером геотектонических процессов и пульсов магматической активности. Пульсы интенсификации магматизма и тектонических перестроек имеют продолжительность от десятков лет до десятков миллионов лет.

Пространственная локализация зон «основных разломов» контролируется тем, что они обтекают жесткие блоки, такие как жесткий блок массива в южной части Срединного хребта Камчатки и поднятый блок Южного острова Новой Зеландии. Основные разломы имеют долгоживущи и движения по ним имеют пульсационный характер. Это подтверждается серией радиометрических датировок в зоне Альпийского разлома Новой Зеландии.

Ключ к интерпретации кинематики движений по сейсмофокальным зонам дает соотношение глубоководного Центрально-Американского желоба с Калифорнийским заливом и разломом Сан-Андреас.

Землетрясения принято связывать со сдвиговыми (разломными) зонами. При этом обычно полагают, что механизмы землетрясений, горных ударов и разрушений в лабораторных образцах аналогичны. Общим для этих явлений служат сдвиговой характер разрушения и различие лишь в степени энергии разрушающих событий, что для случая землетрясений соответствует шкале Гутенберга-Рихтера.

Общепризнано, что сейсмофокальные зоны имеют блоковое строение. Они располагаются кулисообразно по отношению друг к другу и имеют шарнирный характер. Последнее проявляется в изменении максимальных глубин землетрясений по простиранию сейсмофокальных зон.

С шарнирным характером сейсмофокальных зон связана другая их особенность – ответвление по их простиранию самостоятельных поясов мелкофокусных и глубоководных землетрясений.

Надвиговой (вернее, взбросо-надвиговой, так как угол падения плоскости достигает 60°), характер движений по сейсмофокальной зоне хорошо объясняет парное расположение зон поднятия и относительного опускания. Зоны поднятия соответствуют надвигаемому блоку, отвечающему выходу сейсмофокальной зоны на дневную поверхность. Взбросо-надвиговые движения этого блока определяют общую тенденцию его к поднятию и в конечном итоге приводят к резкому возрастанию мощности коры во фронтальной части системы (за счет надвигающихся пластин). В тыловой части этой зоны, естественно, располагается область отстающего поднятия. Достаточно очевидно, что характер динамической обстановки в коре и мантии резко различен в сейсмофокальной зоне и в области, расположенной за ней, в тылу системы островной дуги.

Параллельно общему простиранию сейсмофокальных зон следует серия глубинных разломов, характеризующихся большой продолжительностью жизни и преобладающим сдвиговым характером движений [Эрлих, 2012]. Таким образом, актуальной задачей является реконструкция системы напряжений и попытка построения геодинамической модели. Осознание самого факта наличия таких глубинных разломов приводит к выводу, что сейсмофокальная зона может быть представлена в виде серии субвертикальных пластин, ограниченных сдвигами. Горизонтальный характер движений подтверждается тенденцией развития островных дуг и связанных с ними геотектонических систем по простиранию.



В зоне геоантиклинальных поднятий отмечаются многочисленные интрузии гранитоидного состава, которые должны существенно снижать плотность поднятых блоков. В параллельных им грабен-синклиналиях, контролирующих положение вулканических поясов, под кальдерами располагаются магматические очаги. Предполагается, что плотность слагающего их расплавленного материала на 10-15% ниже плотности консолидированных вулканических пород. Принятие гипотезы о кислом вулканизме, как отражении процессов ультраметаморфизма, приводит к признанию еще одного источника гравитационной нестабильности. В итоге формирования корней гор и роста гранитного слоя коры осадочные комплексы опущенных блоков преобразуются в гранитоиды или метаморфические породы. При этом плотность существенно возрастает.

Но даже при рассмотрении системы «нормальных островных дуг» западной части Тихоокеанского кольца помехой к решению вопросов геодинамики является гипертрофированное увлечение анализом движений по сейсмофокальной зоне (зоне Бениоффа), которая рассматривается как чисто надвиговая структура. Сдвиговая компонента, играющая решающую роль в формировании структур коры, практически не рассматривается, или рассматривается крайне редко. Дополнением к этому пробелу служит и отсутствие (или, по меньшей мере, неполнота) анализа кинематики движений по сейсмофокальной зоне [Эрлих, 2012].

Общеизвестным затруднением используемой модели являются малые значения напряжений, фиксируемые в разломных зонах и в очагах землетрясений. Для объяснения этого явления обычно привлекаются представления, связывающие незначительность сейсмогенных напряжений с компенсирующим давлением флюида в очагах землетрясений [Blanpied et al., 1992, Панфилов, 1994, Киссин, 1996, Родкин, 1993]. Ряд других положений традиционной модели сейсмогенеза также в той или иной степени вступают в противоречие с современными геолого-геофизическими данными. Модель высоконапорного флюида не позволяет преодолеть эти затруднения.

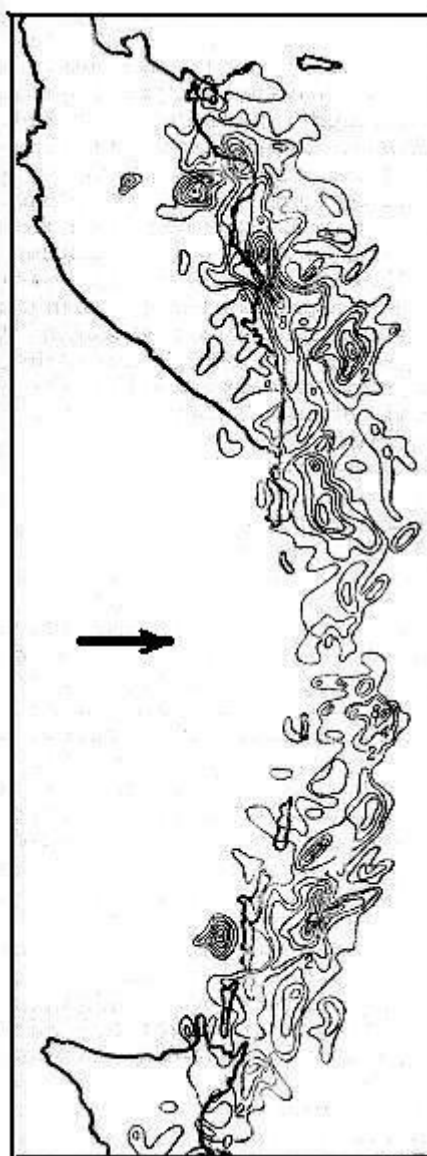


Рис.6. Плотность эпицентров землетрясений Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны. Модифицировано с помощью В. И. Белоусова, из [Эрлих, 1973]. Видна неоднородность в распределении землетрясений. Блоки с высокой плотностью эпицентров чередуются с блоками с пониженной сейсмоактивностью. Предполагается, что разделяющие их зоны высоких градиентов соответствуют сдвигам. Черная стрелка в Охотском море указывает направление регионального стресса.

На рисунке 7 видна важная черта – чередование блоков с относительно высокой и относительно низкой плотностью эпицентров, разделенных линейными градиентными зонами. Каждый раз по таким зонам имеет место горизонтальное смещение фронта сейсмофокальной зоны. Так-что зоны эти уверенно интерпретируются как глубинные сдвиги (или, возможно, сбросо-сдвиги).

В первом случае имеет место обстановка общего интенсивного сжатия, во втором образуются типичные структуры растяжения типа грабенов и грабен-синклиналей. Эшелонированное расположение сейсмофокальных зон определяет образование на отдельных участках нескольких систем парных структур. Неравномерность движений по сейсмофокальной зоне и ориентировка горизонтальной оси сжатия под острым углом к ее простираению обуславливают сдвиговый характер тектоники в тыловой части систем островных дуг. Интерпретация геологического смысла блокового строения сейсмофокальной зоны Курило-Камчатской дуги приведено на рис.8.

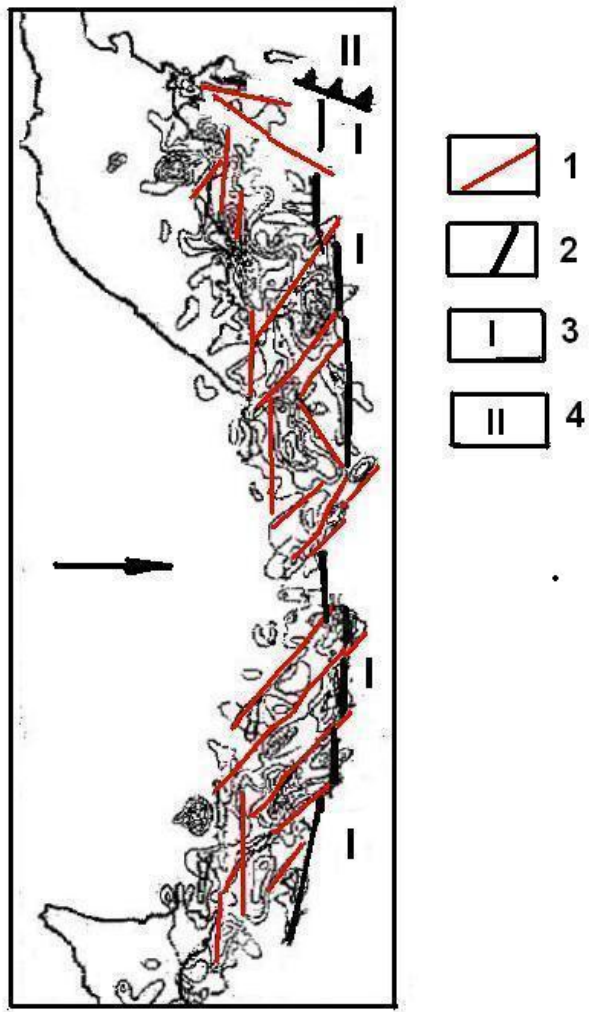


Рис.7. Интерпретация карты плотности эпицентров Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны. Модифицировано с помощью В. И. Белоусова из [Эрлих, 1973].

1. Предполагаемые сдвиговые зоны, разделяющие блоки сейсмофокальной зоны с разной плотностью эпицентров; 2 – зона выхода сейсмофокальной зоны на поверхность; 3 - Курило-Камчатская сейсмофокальная зона, 4 – Командорская ветвь Алеутской сейсмофокальной зоны. Черная стрелка в Охотском море указывает направление регионального стресса.

Важно отметить некоторые черты строения сейсмофокальной зоны в пределах Южной и Центральной Камчатки. Прежде всего, судя по пространственному распределению мелкофокусных землетрясений, тыловая часть зоны выходит на дневную поверхность в районе западной границы полуостровов Кроноцкого и Шипунского и горст-антиклинали Берегового хребта. Южной Камчатки. Таким образом, тыловая граница выхода на поверхность зоны совпадает с глубинным разломом, ограничивающим внешний пояс геоантиклинальных поднятий.

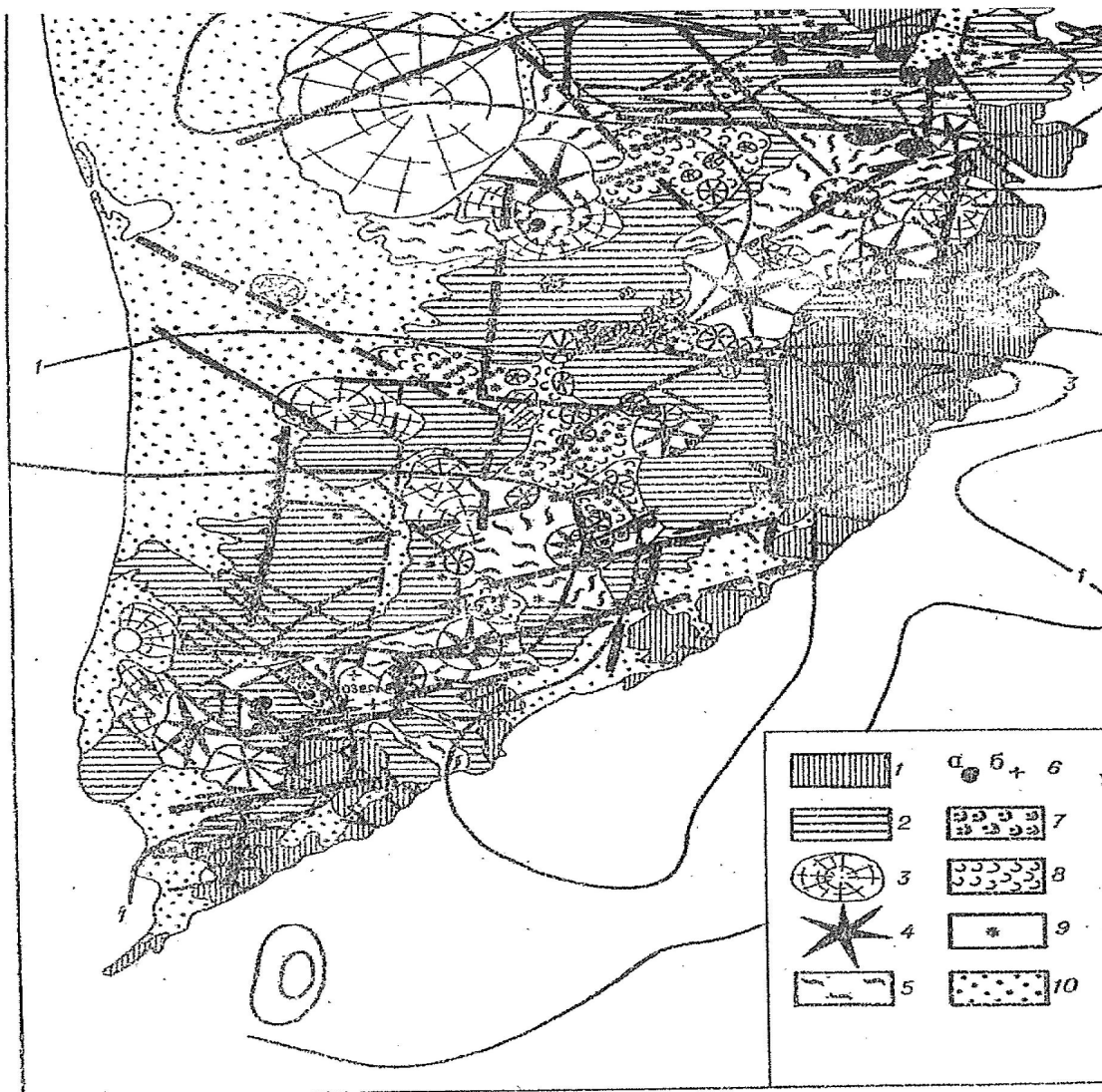


Рис. 8. Схема современной структуры Южной Камчатки. Из [Эрлих, 1973]. 1 – комплекс дислоцированных дочетвертичных отложений; 2 – базальт-андезитовые плато-эффузивы (N_2-Q_1); 3 – базальтовые и базальт-андезитовые щитовые вулканы Q_{1-2} ; 4 – сложные андезитовые и базальт-андезитовые стратовулканы (Q_{3-4}); 5 – экструзивные куполы кислых лав; 6 – поля пемз и игнимбритов (Q_{2-3}); 7 – вязкие потоки кислых лав; 8 – поля базальтовых потоков (Q_{3-4}); 9 – шлаковые конусы и мелкие базальтовые щитовые вулканы (Q_{3-4}); 10 – поля развития рыхлых четвертичных отложений; 11 – разломы по гравиметрическим данным: а. флексуры поверхности М, б. сдвиги с указанием направления смещения; 12 – разломы по геологическим данным; 13 – кальдеры и вулканотектонические депрессии; 14 – изолинии плотности эпицентров землетрясений с глубиной очага более 100 км.

Разлом этот определяет крупную флексуру коры и выражен линейной зоной высоких градиентов силы тяжести. Следовательно, территория между желобом и западной границей внешнего пояса геантиклинальных поднятий характеризуется обстановкой общего сжатия. Какие-либо проявления четвертичного вулканизма на указанной территории отсутствуют.



Другой существенный вопрос — о закономерностях размещения очагов землетрясений в пределах сейсмофокальной зоны в плане. Для объективного его решения составлена карта плотности очагов землетрясений на Камчатке. Плотность рассчитывалась для квадратов со стороной в 25 км. Изолинии проводились по центру квадратов и частично корректировались по реальному расположению эпицентров (рис. 10). Из этой карты отчетливо видно, что на полуострове очаги землетрясений с глубиной более 50 км располагаются не непрерывной полосой, а концентрируются в пределах нескольких участков, разделенных асейсмичными зонами или зонами, где сейсмичность резко понижена.

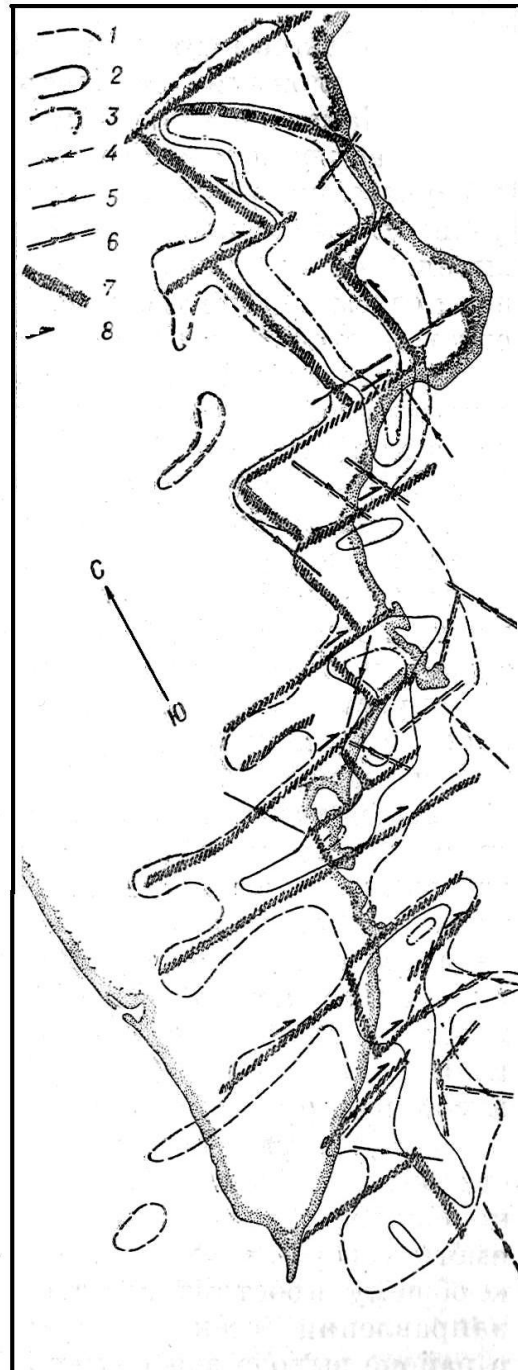


Рис.8. Плотность очагов землетрясений Камчатки. Глубина гипоцентров более 100 км [Эрлих, 1973]. Сводка по [Токарев и др., 1968, 1970, 1970а, Федотов и др., 1967, 1970, Аверьянова, 1968]. Изолинии плотности эпицентров для квадратов со стороной 25 км, где отмечено 1 – одно, 2 – три, 3 – 5 и более землетрясений. Векторы сжатия по [Zobin, 1979], 4 – с глубиной очага 60-70

км, 5 – с глубиной 100 и более км; 7 –предполагаемые разломы по границам блоков с разл. степенью сейсмичности; 8 - предполагаемое направление смещения.

В каждом из таких участков в свою очередь выделяется несколько частей, различающихся по простиранию или степени сейсмичности и отделенных друг от друга линейными зонами градиентов плотности землетрясений.

Рассмотрение напряжений в очагах землетрясений показывает, что движения нижней границе фокальной зоны имеют преимущественно сдвиговую природу [Zobin, 1979]. В пологой и верхней части сейсмофокальной зоны наблюдаемые локальные деформации хорошо описываются тангенциальными движениями по плоскостям падения сейсмофокальной зоны (при горизонтальных северо-западных направлениях осей сжатия). Судя по взбросовому характеру деформаций, основная сейсмичность сосредоточена здесь на верхней границе фокальной зоны. Несколько иная картина наблюдается в нижней части фокальной зоны, где ось преобладающего сжатия близка нижней границе фокальной зоны к плоскости плиты. Такая конфигурация не может быть описана только скольжением её по поверхности погружающейся плиты, но подразумевает и ее внутренние деформации в условиях сжатия [Lander and Shapiro, 2009].

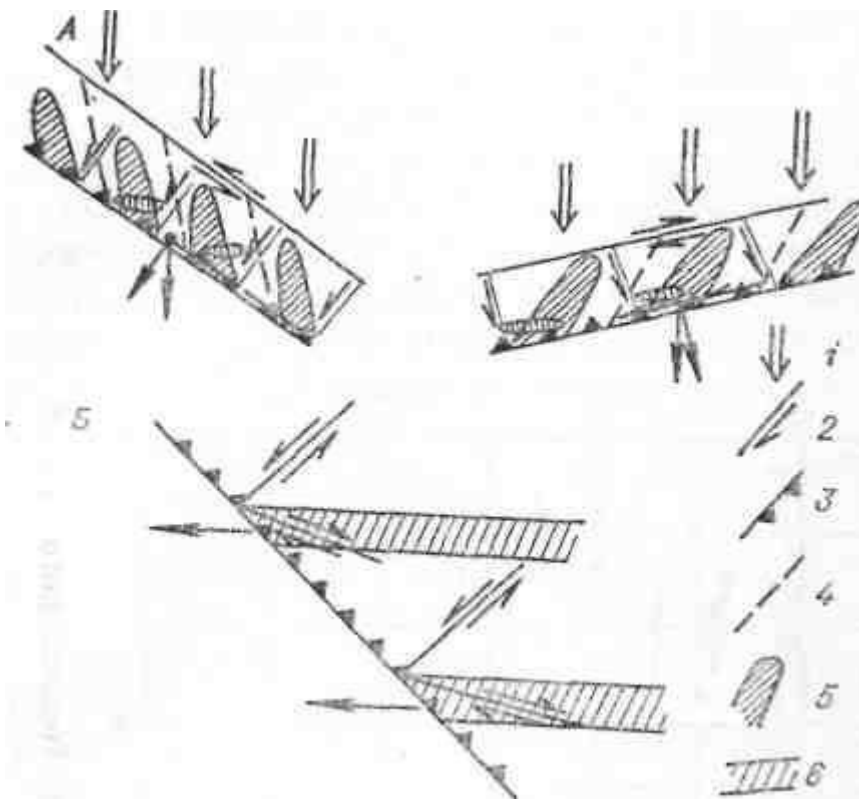


Рис. 9. Схема воздействия движений по сейсмофокальной зоне на структуры коры. [Эрлих, 1973].

А — генерация сдвигов под воздействием однонаправленного горизонтального сжатия по сейсмофокальной зоне. Б — генерация сдвигов в связи с разной степенью сейсмичности участков сейсмофокальной зоны. Вектор сжатия ориентирован под углом к горизонту. 1 — направление вектора горизонтального сжатия; 2 — сдвиги; 3— линия выхода сейсмофокальной зоны; 4 — трещины отрыва; 5 — складки волочения; 6 — зоны повышенной сейсмичности.

Для района сочленения Курило-Камчатской и Алеутской дуг приводится распределение плотности мелкофокусных землетрясений (рис.12). Из этой карты видно, что разломы северозападного простирания, связанные с Алеутской дугой, протягиваются от полуострова Камчатского мыса не к Шивелучу, как это принято считать, а к югу от него. Последнее обстоятельство, создает зону сжатия между вулканами Ключевской группы и Шивелучем, в районе Харчинской группы вулканов, что и обусловило пониженный уровень вулканической активности в районе сочленения двух дуг.

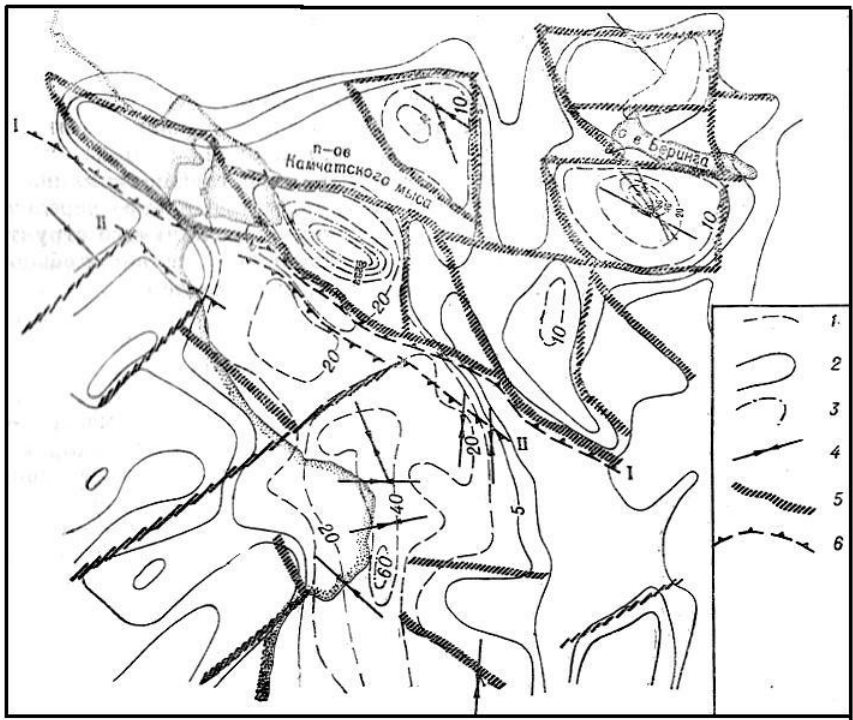


Рис.10. Плотность эпицентров мелкофокусных землетрясений в северной части Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны [Эрлих, 1973].

Изолинии проведены по центрам квадратов со стороной 25 км, где отмечено 1 – от 1 до 5, 2 – от 5 до 40, 3 - более 40 землетрясений, 4 – векторы очагов сжатия (по данным В.М. Зобина), 5 – предполагаемые разломы на границах блоков с разной интенсивностью сейсмичности, 6 – предполагаемая граница сейсмофокальной зоны I – Алеутской, II – Курило-Камчатской.

Аналогичный блоковый характер имеют сейсмофокальные зоны и в вертикальном сечении [Аверьянова, 1968], см. рис. 13.

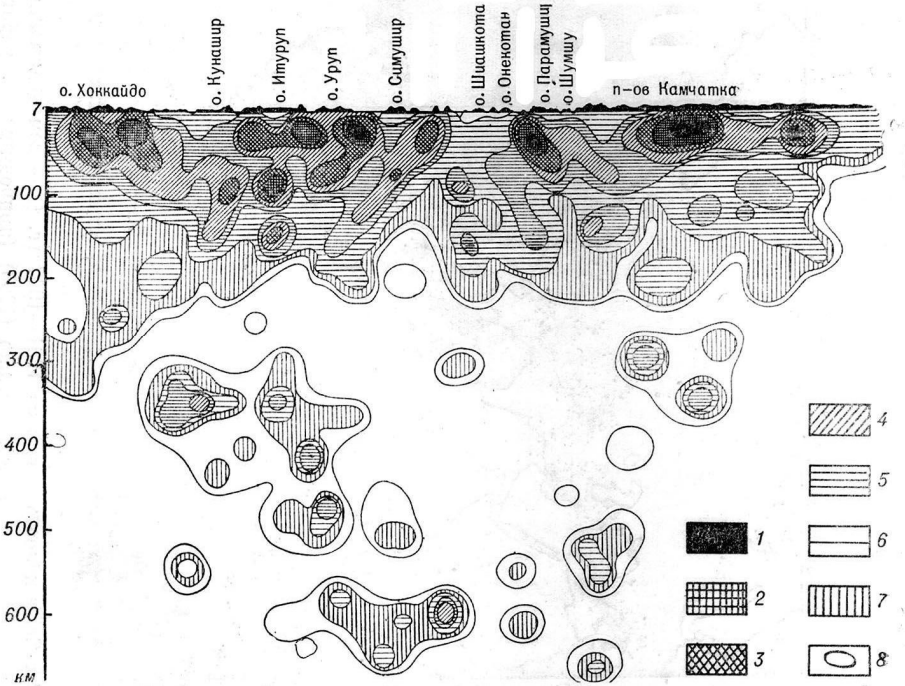


Рис.11. Продольный разрез Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны [Аверьянова, 1968]. Области, в пределах которых сумма энергии, выделившейся в очагах землетрясений за

1911-1963 гг. с $M \geq 5$ на площади 900 км² содержит 1019 эрг: 1 - $\Sigma E \geq 550$; 2 - $400 \leq \Sigma E \leq 550$; 3 - $200 \leq \Sigma E \leq 400$; 4 - $90 \leq \Sigma E \leq 200$; 5 - $40 \leq \Sigma E \leq 90$; 6 - $10 \leq \Sigma E \leq 40$; 7 - $4 \leq \Sigma E \leq 10$; 8 - $\Sigma E \leq 4$ эрг.

Тот же шарнирный характер сейсмофокальной хоны характерен и для дуги Тонга-Кермадек (рис.12).

Горизонтальные движения по тыловому шву сейсмофокальной зоны обуславливают появление в примыкающих к нему районах самостоятельной системы дислокаций в виде складок волочения и разделяющих их трещин отрыва. Структуры этой системы располагаются под острым углом к простираению тылового шва и подобны структурам, образующимся в результате горизонтальных движений по фронтальной зоне. Однако, поскольку знак горизонтальных перемещений изменяется в тыловом шве на обратный, соответственно изменяется и ориентировка структур второго порядка (см. рис. 15). Объективную картину блокового строения дает карта плотности эпицентров землетрясений, приходящихся на единицу площади (квадрат со стороной 25 км, рис.9). При этом отдельно рассматриваются очаги мелкофокусных землетрясений и землетрясений с глубиной очага. 100 и более км.

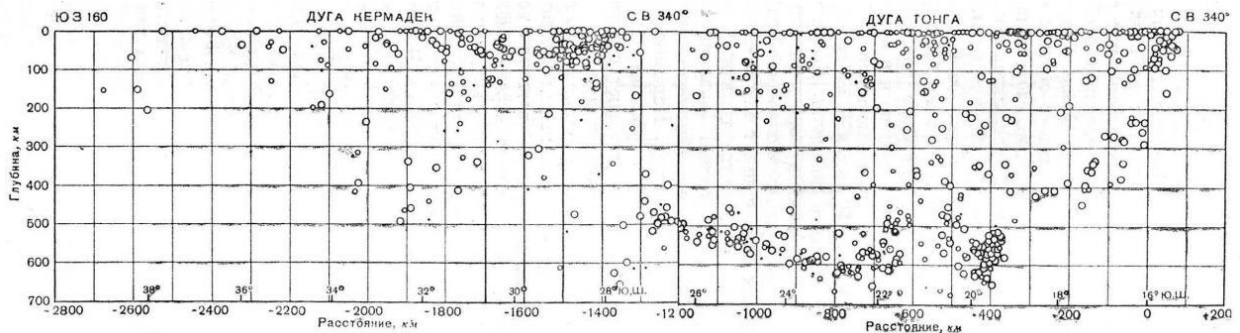


Рис.12. Продольный разрез сейсмофокальной зоны дуг Тонга-Кермадек [Сайкс, 1970].

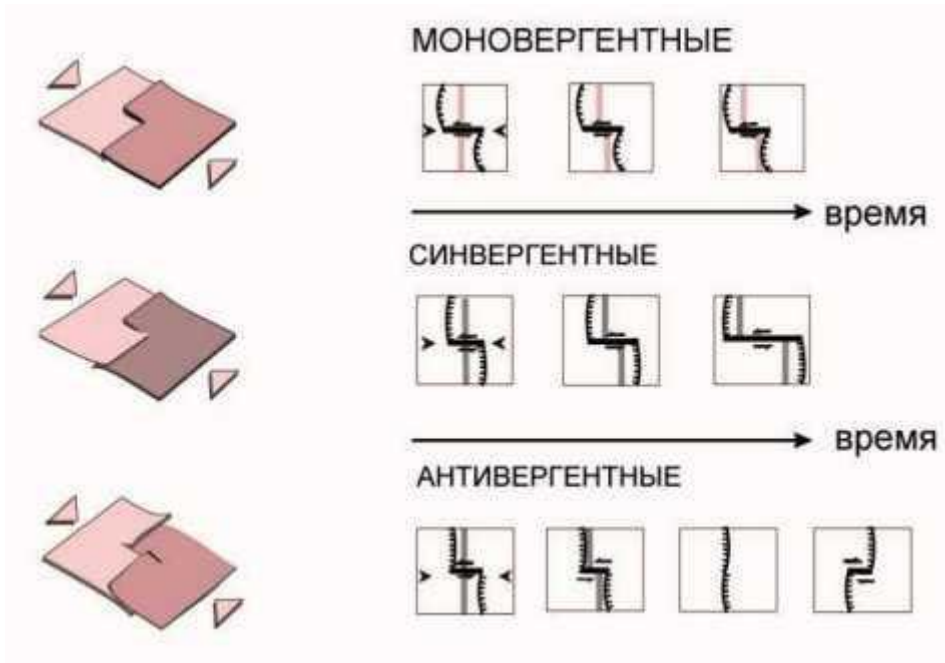


Рис. 13. Общая схема трансформов [Тевелев, 2003].

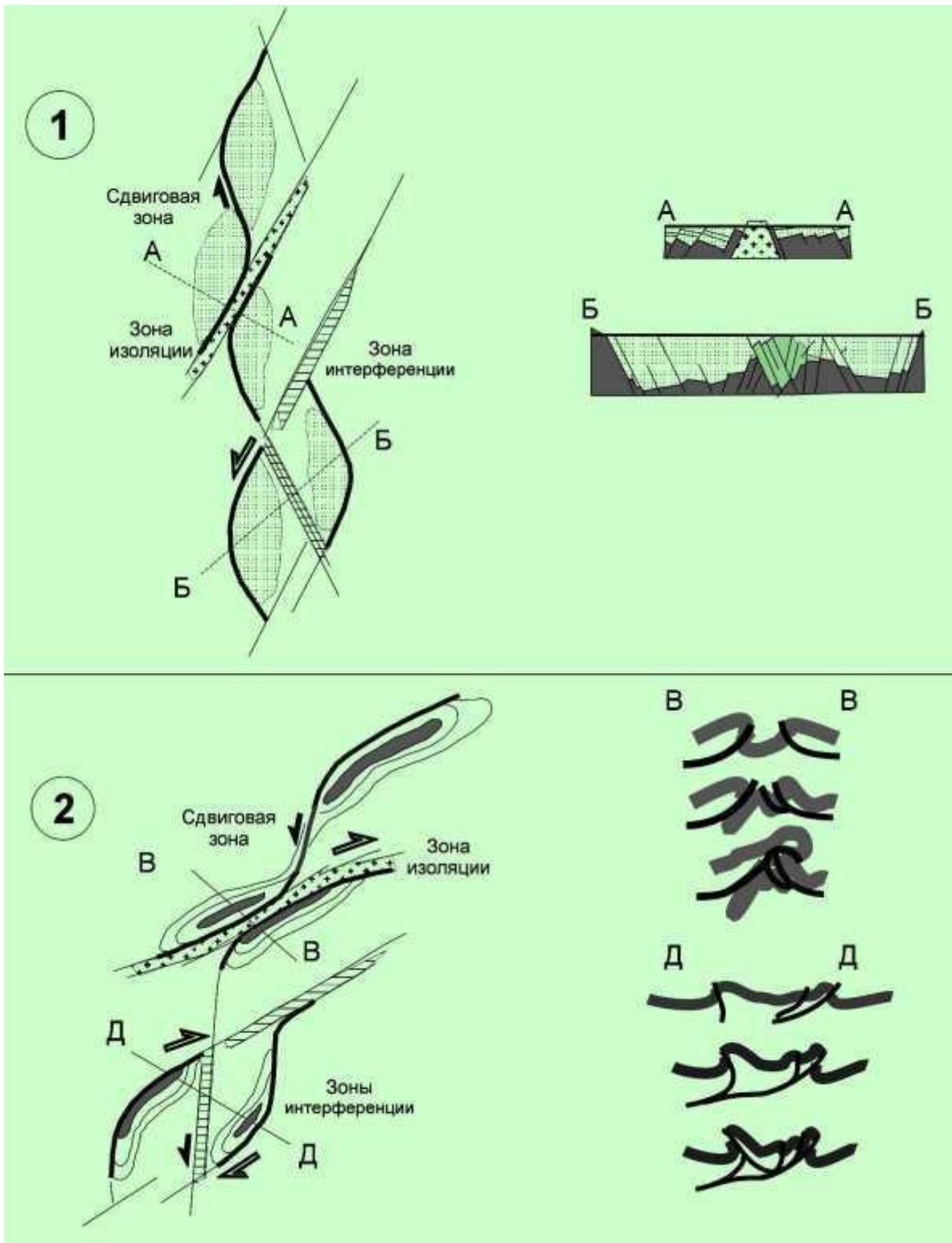


Рис.14. Динамика движений по трансформам типа дуга-дуга [Тевелев, 2003].

Сводка данных по направлению векторов сжатия в очагах землетрясений, выполнена [Балакина, 1962].

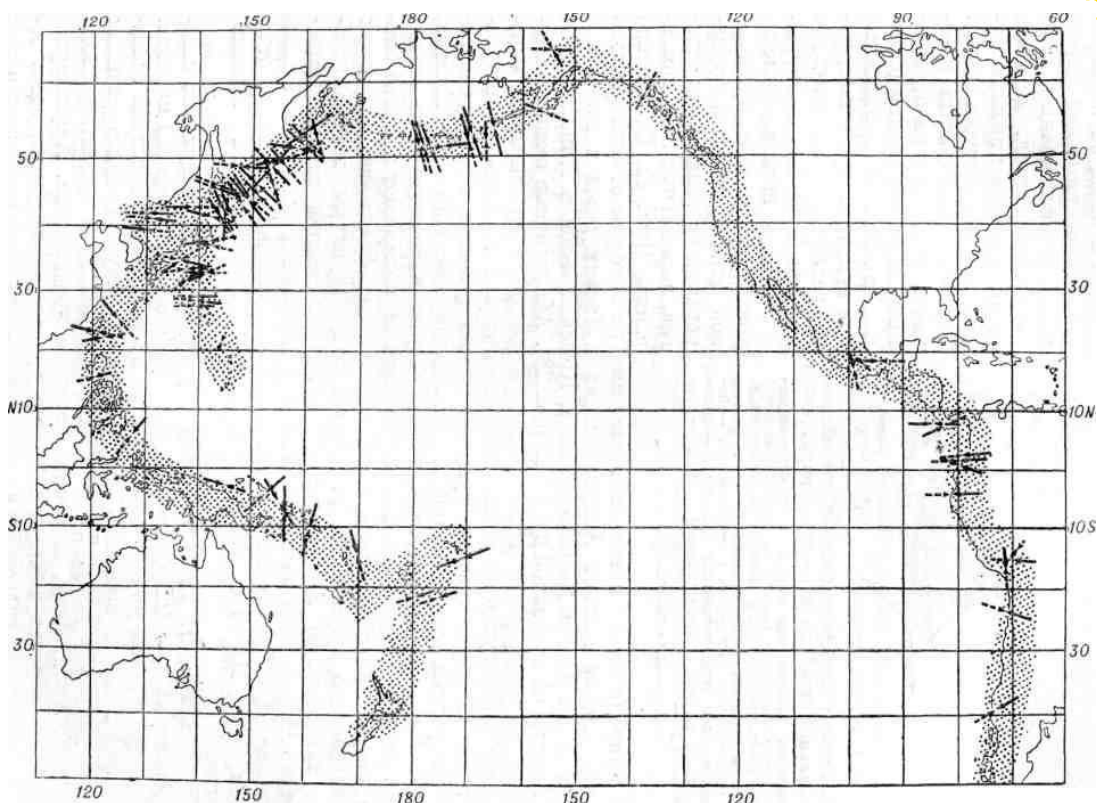


Рис. 15. Ориентировка векторов напряжений сжатия в очагах землетрясений Тихоокеанского пояса (по Балакина, 1962)

Сходные изменения претерпевает и сейсмичность подвижных областей типа Камчатки и Тайваня. На стадии островных дуг, выдвинутых в сторону океана, землетрясения концентрируются в фокальной сейсмической зоне; максимальная глубина землетрясений достигает 400 – 600 км. На стадии двойных островных дуг имеет место отрыв глубокофокусных землетрясений от фокальной сейсмической плоскости – гипоцентры их обособляются в виде полосы, отделенной от наиболее глубоких центров землетрясений, связанных с фокальной плоскостью, зоной полного отсутствия сейсмических толчков. В тектонических системах типа Камчатки максимальная глубина землетрясений, как правило, не превышает 150–250 км. В системах типа Тайваня сейсмофокальные зоны отсутствуют, и отмечаются лишь землетрясения с глубиной очага до 30–40 км. Объяснение изменения глубин очагов землетрясений можно найти в работе [Тараканов и Левый, 1967]. Рассматривая распределение максимальных магнитуд землетрясений с глубиной, авторы выделяют минимумы кривой на глубинах 60 – 80, 110 – 150, 220 – 290 и 400 – 460 км. На этих же глубинах получены отклонения амплитуд продольных и поперечных волн, отношений амплитуд и скоростей, производных эмпирических годографов. Отмечая, что глубины 60 – 80 и 110 – 150 км практически совпадают с глубиной зоны пониженной скорости, соответственно, для продольных и поперечных волн, выделенной Б. Гутенбергом, авторы предполагают, что все перечисленные интервалы глубин отвечают слоям с пониженной прочностью вещества по сравнению с чередующимися с ними прочными слоями.

Статья Тараканова и Левого и работа Аверьяновой [Аверьянова, 1968] (см. рис.15) показывают, что сейсмофокальные зоны имеют блоковый характер.

В работах, посвященных обзору ориентировки осей сжатия в очагах землетрясений, связанных со всей циркум-тихоокеанской системой сейсмофокальных зон, обычно отмечается, что главные оси ориентированы по нормали к островным дугам и вдоль их оси [Hodgson, 1962; Балакина, 1962]. Однако детальные исследования по отдельным регионам и даже данные самих авторов говорят, что такая закономерность не выдерживается. Это отклонение от нормали иллюстрируется рисунком (рис.19). Рассматривая природу глубинных разломов островных дуг, следует обратить внимание на систематически повторяющийся переход островных дуг при пересечении с геотектоническими системами типа Камчатки в грабен-синклинали. При пересечении острова Хонсю островной дугой Изу-Бонин располагается грабен Фосса Магна (Большой Ров). Курильская островная дуга продолжается на Южной Камчатке грабен-синклиналью Южной Камчатки – частью вулканического пояса Восточной Камчатки. Дуга Тонга-



Кермадек продолжается на Северном острове Новой Зеландии в форме грабена Таупо. На Аляске при сочленении с Алеутской островной дугой образуется линейная депрессия, по морфологии аналогичная грабен-синклиналиям. Характерное изменение глубины очагов землетрясений в пределах сейсмофокальных зон в направлении от желобов к тылу структуры представляет собой настолько яркую их особенность, что сейсмофокальные зоны повсеместно рассматриваются как надвиги (поддвиги). Именно в этой форме они и считаются основным элементом всех плейт-тектонических построений.

Приведенные данные о геометрии основных разломов свидетельствуют, что геологическая природа сейсмофокальных зон может быть аппроксимирована не как надвиг, а как серия субвертикально падающих пластин, испытывающих преимущественно сдвиговые деформации.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ПРИРОДА ТРАНСФОРМНЫХ РАЗЛОМОВ

Один из наиболее распространенных механизмов перетекания масс, скорее всего, связан с трансформными разломами. Сама идея настоящих трансформных разломов, вдоль которых осуществляется не просто горизонтальное смещение блоков, а изменяется мощность коры, была, к сожалению, в равной мере чужда и вулканологам, и геологам, как Камчатского геологического управления, так и геологических институтов Москвы и Ленинграда. Не был, увы, исключением и автор. Причем, это в равной мере относится как к сторонникам традиционных тектонических гипотез, так и к адептам тектоники плит. Широтные разломы, вдоль которых отмечалось горизонтальные смещения блоков, рассматривались просто как обыкновенные секущие сдвиги.

На примере Узона было детально рассмотрено развитие вулканизма в связи с движениями по сдвиговой зоне [Эрлих, 2009]. Направление главных векторов сжатия под острым углом к простиранию сейсмофокальных зон определяет широкое развитие в их пределах зон трансформных разломов имеющих, как правило, субширотную ориентировку. На примере Узона было детально рассмотрено развитие вулканизма в связи с движениями по сдвиговой зоне [Эрлих, 2009] (рис. 20).

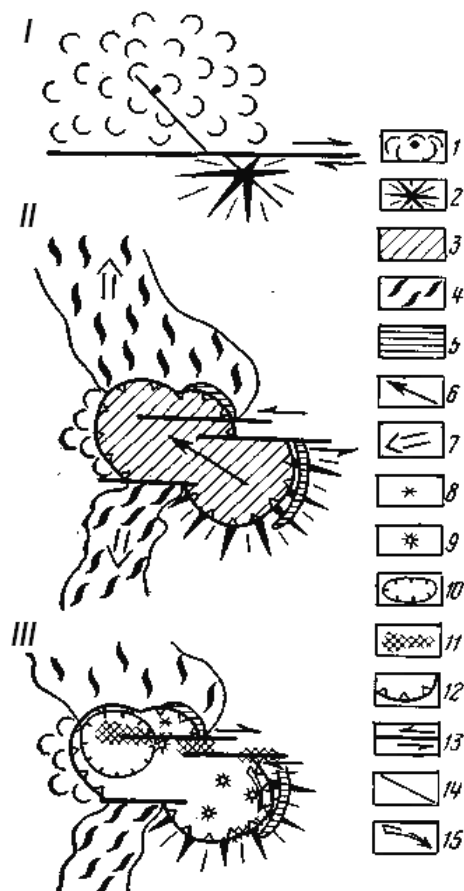


Рис.16. Схема развития вулканизма Узонско-Гейзерной депрессии в связи с движениями по трансформному разлому типа глубинного сбросо-сдвига [Эрлих, ред., 2009].

I- Докальдерный этап вулканической активности; II – этап кальдерообразования; III – этап посткальдерного вулканизма. 1 – базальтовый щитовой вулкан Q_{1-2} – центр кислого вулканизма докальдерного этапа; 3– поле локализации центров эрупции кальдерообразующих выбросов

кислой пирокластике, приведших к формированию игримбритов; 4– поля развития игнимбритов; 5 – дуговые системы трещин, заполненные кислой магмой; 6 –направление смещения очага кислой магмы; 7 – направление течения игнимбритов; 8 – маар озера Дальнего; 9 – кислые экструзивные купола; 10 – воронка взрыва; 11 – поле развития гидротермальной активности; 12 – разлом, ограничивающий вулcano-тектоническую депрессию; 13 – зоны глубинных сдвигов с указанием направления относительного перемещения крыльев 14 – трещины оперения сдвигов; 15 – направление оттока термальных вод от основного глубинного сдвига по дренирующей системе трещин.

К тому времени, когда я стал заочно (то есть не выезжая в поле) интересоваться геологией Узон-Гейзерного района. Там вела работы группа под руководством Г. П. Авдейко, но никаких идей о соотношении кальдеры Узон со структурой района Долины Гейзеров не было. Так-что когда я впервые заговорил с О. А. Брайцевой она выразила всяческое недоверие существованию системы разломов широтного простирания и предложила мне сесть вместе и отрисовать структуру, нанося все данные на одну карту. В итоге этой работы неожиданно для нас обоих вырисовалась единая вулcano-тектоническая депрессия, состоящая из двух частей смещенных по системе коротких широтных разломов типа сбросо-сдвигов. Я написал об этом статью в сборник под редакцией С. И. Набоко [Набоко, ред., 1971]. В статье попутно была определена структурная позиция Долины Гейзеров. Этим последним вопросом, естественно, очень интересовались геотермики во главе с В.В. Аверьевым. Мне было лестно услышать, как В.В. Аверьев после прочтения статьи говорил, что у него «словно пелена с глаз упала, когда он услышал, что район Долины Гейзеров является единой структурой с кальдерой Узон». Это было фактически первое на Камчатке описание сдвиговых деформаций в связи с вулcano-тектоническими депрессиями. Но сам термин «трансформный разлом» мной не употреблялся. Эта идея пришла много позже, когда была разработана концепция генезиса кислых магм в процессе роста гранитного слоя коры [Эрлих, 2009а].

Самый яркий пример локализации вулканизма вдоль широтных зон разломов дает описание Паужетской структуры. Ее геологии и вулканизму посвящена специальная монография [Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки, 1980].

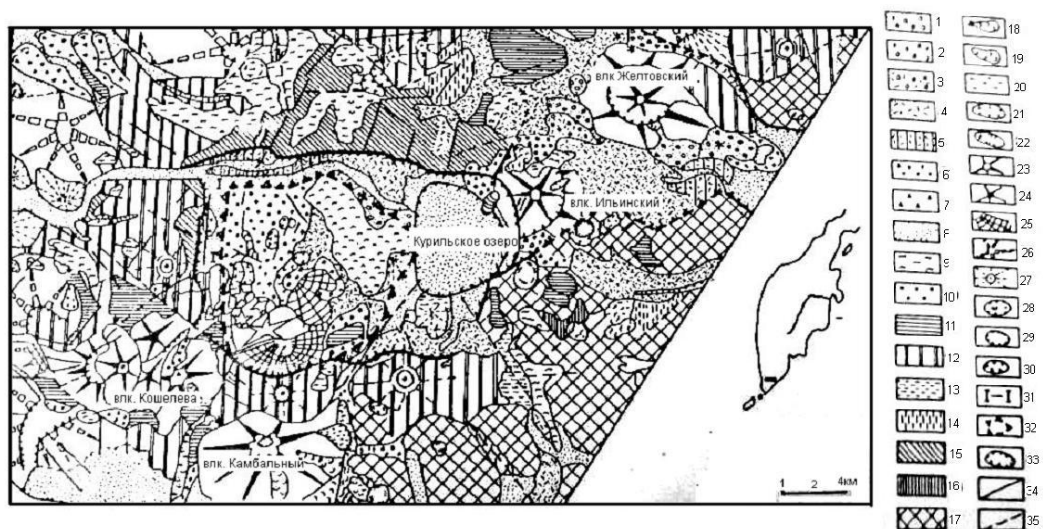


Рис. 17. Структура Паужетской вулcano-тектонической депрессии [Долгоживущий центр..., 1980].

I. Четвертичные отложения. 1 – взрывные отложения (Q_3); 2 – шлаки (Q_4^1); 3 – Взрывные пемзовые отложения и шлаковые брекчии (Q_3^1); 4 – мощные пемзово-пирокластические потоки (Q_3^1); 5 – Переотложенные пемзы (Q_3^1); 6 – Ледниковые отложения второй фазы верхнечетвертичного оледенения (Q_3^2); 7 – Ледниковые отложения первой фазы верхнечетвертичного оледенения; 8 – Нерасчлененные рыхлые четвертичные отложения (Q_3^1); 9 – Риодациты и игнимбриты (Q_2); 10 – Осадочные туфы паужетской свиты ($N_2 - Q_3^1$).

II. Миоценовые, плиоценовые и нижнечетвертичные отложения: 11. Платообразные реликты щитовидных вулканов; 12 – Эффузивно-пирокластические комплексы крупных плиоценовых центров вулканизма; 13- вулcanoгенно-осадочные толщи среднемиоценового



- среднеплиоценового возраста (N^{2-3}); 14 – Крупные интрузивные тела (N_2); 15 – вулканогенные существенно-лавовые комплексы нижнего и среднего миоцена (N_2^{1-2}); 16 – Туфогенные песчаники и гравелиты позднепалеогенового-среднемиоценового возраста ($Pg_3-N_1^{1-2}$); 17 – Нерасчлененные отложения позднего палеогена – нижне-среднего миоцена ($Pg_2-N_1^{1-2}$);

III. Генетические типы вулканов и их морфология. 18 – Базальтовые шлаковые конуса (Q_4); 19 – Базальтовые лавовые вулканы (Q_4); 20 – Крупный многофазовый экструзивный комплекс Дикий Гребень (Q_4); 21 – Небольшие экструзивные купола дацитового состава Q_3-Q_4 ; 22 – Субинтрузивные образования; 23 – существенно лавово-пирокластические стратовулканы; 24 – Существенно пирокластические стратовулканы; 25 – Щитовидные существенно-лавовые вулканы (Q_1-Q_2); 27 – Крупные плиоценовые центры вулканизма; 28 – Сильно эродированные реликты плиоценовых вулканов; 29 – Кратера стратовулканов; 30 – сбросы обрамления Паужетской вулканотектонической депрессии; 31 – грабен долины р. Паужетки; 32 – Горст Камбального хребта; 33 – кальдеры с которыми связаны пемзовые потоки;

IV. Дизъюнктивные нарушения. 34 – наблюдаемые разломы; 35 – предполагаемые разломы; 36 – трещины, с которыми связаны пемзовые потоки.

Схема, приведенная на рис. 19, столь перегружена многочисленными деталями, что понять характер движений по разломам очень затруднительно. Дело в том, что составитель ее Ю.П. Масуренков делал это, желая показать как бережно надо относиться к фактическому материалу [Долгоживущий центр..., 1980]. Природа движений по широтным разломам этого района была расшифрована позже (рис. 18), после того, как со схемы были убраны многочисленные детали, связанные с аккумуляцией на поверхности вулканических продуктов [Леонов, 1981]. О трансформной природе широтных разломов в обеих работах упоминания не было. Я пишу обо всем этом так подробно просто из желания проанализировать последовательность событий и восстановить историю отрисовки структуры.

На примере Паужетской структуры отчетливо видно, что центры активного вулканизма и связанные с ними вулканотектонические депрессии и кальдеры смещаются во времени с запада на восток. По всей вероятности, это отражает направление смещения по трансформному разлому. То же можно сказать и о глубинном сдвиге (трансформном разломе), контролирующем Узон-Гейзерную вулканотектоническую депрессию [Эрлих, 2009]. Такое единообразие направления движений, скорее всего, связано с надвиганием геотектонической системы Камчатки на океанический блок (а не пододвиганием океанического блока под геотектоническую систему Камчатки).

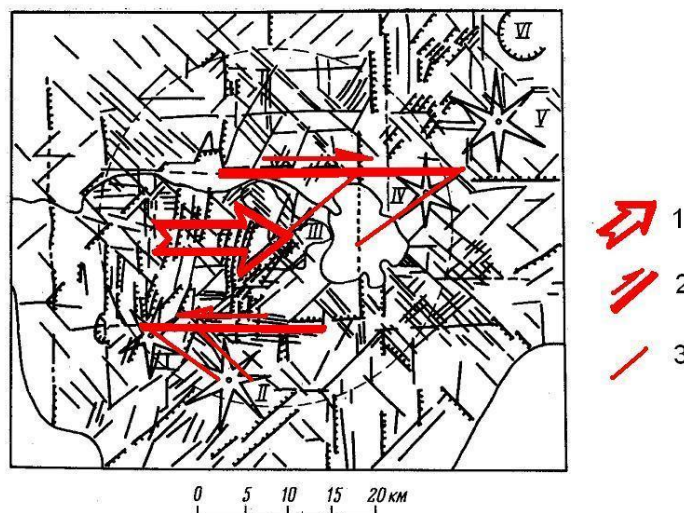
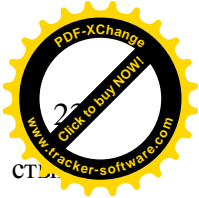


Рис. 18. Динамика движений по разломам Паужетской вулcano-тектонической депрессии [Леонов, 1981]. 1. Направление общего смещения блока; 2. Направление движений по глубинным сбросо-сдвигам; 3. Оперяющие трещины отрыва, контролирующие пространственное положение молодых эруптивных центров.



Трансформные разломы аналогичного типа присутствуют повсеместно на стыках островных дуг нормального типа и геотектонических систем типа Камчатки. Во всех случаях они контролируют положение крупных центров кислого вулканизма. На Кюсю это вулканический центр Унзен, в пределах которого обнаруживаются крупные зоны широтных разломов; на границе островной дуги Сунда и тектонической системы Суматры ее пересекает широтный разлом, на котором расположен крупный центр кислого вулканизма – вулкан Кракатау; в центральной части Суматры расположена крупная вулкано-тектоническая депрессия озера Тоба, положение которой контролируется широтными сдвиговыми зонами. Наличие широтных зон разломов предполагается и в вулкано-тектонической структуре Кутчаро (северо-восточное Хоккайдо). Разлом того же типа пересекает центральную часть Жупановско-Карымской вулкано-тектонической депрессии (рис. 17). Он, по всей видимости, контролирует ее пространственную локализацию.

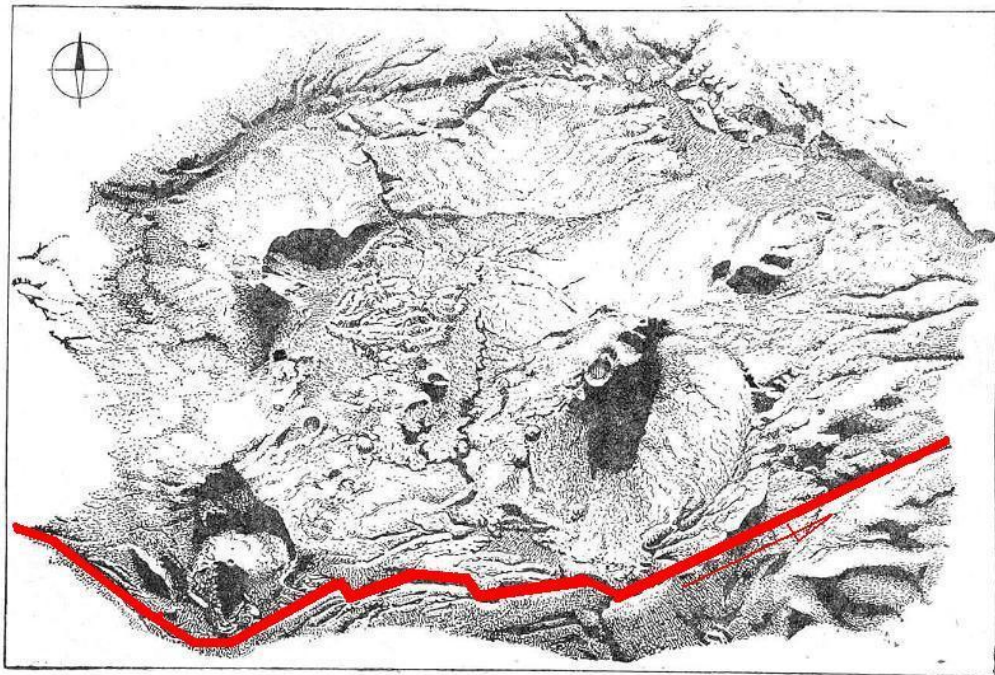


Рис. 19. Трансформный разлом, пересекающий центральную часть Жупановско-Карымской вулкано-тектонической депрессии, модифицировано по Н. А. Гусеву [Святловский, 1975]. Красная линия - предполагаемый глубинный трансформный разлом. Тонкая красная стрелка указывает направление горизонтального смещения.

Перетекание глубинного вещества в связи с движениями по трансформным разломам представляет лишь один из возможных механизмов перераспределения глубинного вещества. Более общий случай представляет собой перетекание глубинного вещества в связи с восстановлением изостатического равновесия. В ходе этого процесса формируется флексура поверхности М на границе вулканического пояса Восточной Камчатки и восточной горст-антиклинальной системы, частными случаями которой являются идущая вдоль побережья Южной Камчатки горст-антиклиналь Берегового хребта и горст-антиклинали полуостровов восточного побережья (Шипунского мыса, Кроноцкого, Камчатского мыса) [Штейнберг, 1966]. Но характер разломных дислокаций, вдоль которых локализовались многочисленные вулканические центры, остался вне поля зрения исследователей. Тем более не говорилось о трансформной природе этих разломов. Наверное, единственный раз я слышал упоминание о возможной трансформной природе этой зоны от В. И. Белоусова, перенесшего сюда терминологию и понятия геологов новозеландской школы. Основным источником данных о кинематике движений являются исследования сейсмофокальной зоны по разломам островных дуг и сходных с ними геотектонических систем.

Наиболее подходящим материалом для рассмотрения кинематики сейсмофокальных зон дает Курило-Камчатская зона.

В пологой и верхней части сейсмофокальной зоны наблюдаемые локальные деформации хорошо описываются тангенциальными движениями по плоскостям падения сейсмофокальной



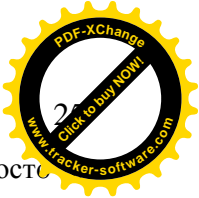
зоны (при горизонтальных северо-западных направлениях осей сжатия). Судя по взбросовому характеру деформаций, основная сейсмичность сосредоточена здесь на верхней границе предположительно субдицирующей плиты. Характер напряжений изображен на приведенном ранее рис. 6.

Таким образом, изменение глубины очагов землетрясений в подвижных областях отражают активизацию и последующее затухание активности различных дискретных уровней астеносферы. Кососекущий характер «основных разломов» характерный для геотектонических систем сходных с островными дугами типа Камчатки или Южного острова Н. Зеландии по сравнению с общим простиранием той или иной островной дуги является следствием блокового строения сейсмофокальных зон.

Пространственная локализация зон «основных разломов» контролируется тем, что они обтекают жесткие блоки, такие как жесткий блок массива в южной части Срединного хребта Камчатки и поднятый блок Южного острова Новой Зеландии. Основные разломы имеют долгоживущий характер и движения по ним имеют пульсационный характер. Это подтверждается серией радиометрических датировок в зоне Альпийского разлома Новой Зеландии. Полученная картина позволяет существенно уточнить характер движений по сейсмофокальной зоне. Отметим несколько моментов:

Для Курильской части зоны характерно различие простираний отдельных частей системы Курильской дуги. Южная и Центральная части вытянуты в направлении на северо-восток 45° , а отдельные группы вулканов здесь ориентированы по азимуту СВ $25\text{—}30^\circ$. Северная группа островов образует ряды структур меридионального простирания, продолжающие направление структур Южной и Центральной Камчатки. Оба различно ориентированных участка разбиты системой сбросов и сбросо-сдвигов северо-западного и широтного простирания. В результате создается сложная конфигурация блоковой системы дуги по простиранию. При этом простирание желоба изменяется вдоль дуги очень плавно, что и придает дугообразный облик системе в целом. Описанная продольная зональность свидетельствует о том, что Курильская дуга развивалась не как однородная структурная система, а образовалась в результате параллельного развития двух самостоятельных систем. Первая из них, включающая Южную группу островов, развивалась в тесной связи со структурами Японии. Вторая, включающая Северную группу, связана с развитием структур Камчатки. Центральная группа островов, по-видимому, результат более поздних этапов развития второй из этих систем. Сейсмофокальная зона в районе Курил выходит на поверхность на участке между желобом и геоантиклиналью внешней дуги. В тыловой части зоны имеются ориентированные в широтном направлении линейные участки, где отсутствуют (или их мало) землетрясения с глубиной очага более 100 км. Они приурочены к району пролива между Итурупом и Кунаширом, к северной части Итурупа и проливу между ним и смежным с севера о-вом Уруп, между Урупом и Симуширом. На продолжении их располагаются линейные зоны сгущения эпицентров мелкофокусных землетрясений, имеющие субширотное простирание. К северу от каждой из таких зон блоки островов Большой Курильской дуги смещаются на восток на хр. Витязя на пересечении с этими зонами фиксируются широтные уступы рельефа, смещающие геоантиклиналь внешней дуги. К северу от такого рода зоны, проходящей в районе о. Шиашкотан, происходит стык Северного и Южного звеньев Курильской дуги. Фронтальная часть сейсмофокальной зоны к северу от этого участка резко смещается на восток (рис.3). Все это дает возможность, как и для Камчатки, интерпретировать градиентные зоны, разграничивающие участки с разной сейсмичностью, как глубинные разломы типа правого сдвига. Как видно из продольного разреза сейсмофокальной зоны, приводимого В. Н. Аверьяновой [Аверьянова, 1968], она состоит из двух шарнирно погружающихся блоков: один — от Камчатки до Центральных Курил (глубины меняются от 100 до 600 км), а второй — от Хоккайдо до Центральных Курил (от 300 до 600 км). Первый блок погружается на юг-юго-запад, а его тыловая (по простиранию) сторона обрывается разломами, падающими на север-северо-восток, второй блок — на северо-восток, а его тыловая (по простиранию) сторона обрывается разломами, падающими на юго-запад. Стык обоих блоков отмечается в районе о. Шиашкотан, т. е. соответствует стыку Южного и Северного звеньев Курильской дуги.

Наиболее характерными морфоструктурами выраженными на островах Большой Курильской гряды являются грабены широтного простирания наподлицо заполненные пемзовым и осадочно-пирокластическим материалом.



Тут, в заключение этого раздела, важно подчеркнуть, что речь идет не просто о простирании разломов, а о их генетической природе при которой с движениями по разломам связывается преобразование коры.

1.3. Американские данные в свете геологии островных дуг

Особо следует рассмотреть данные по Американскому континенту, где отсутствуют зона Бенъофа, нет островных дуг и сопутствующих им структур. Распределение систем трещин и структур в околосдвиговых зонах хорошо изучено [Moody, Hill, 1956]. Приводимый ниже рисунок 22 показывает распределение разломов и складок волочения на крыле сдвига Сан-Андреас. Пользуясь данными этих исследователей, можно попробовать решить обратную задачу – по рисунку околосдвиговой системы трещин и структур реконструировать динамику движений по разлому.

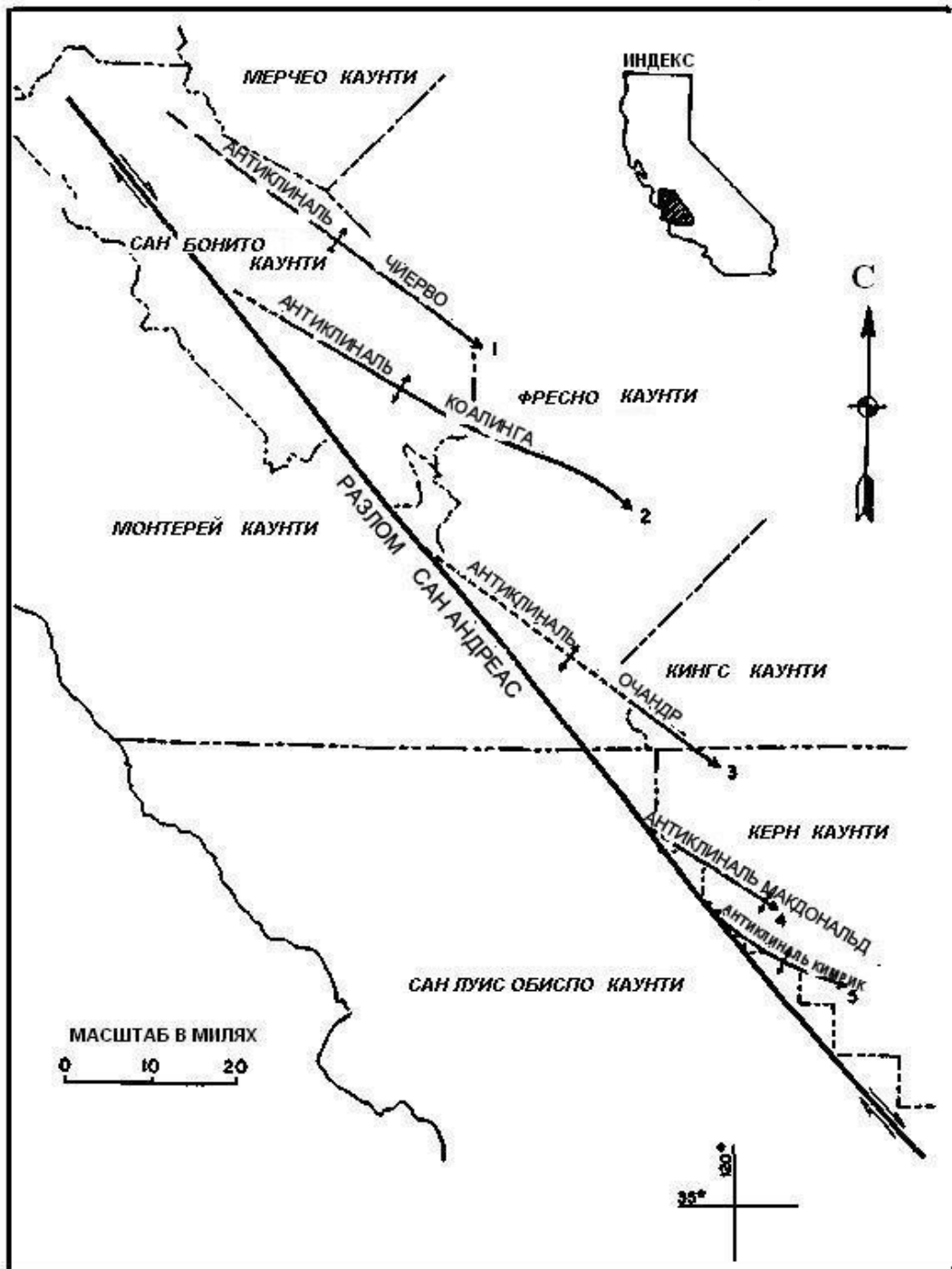


Рис.22. Распределение разломов оперения и складок волочения вдоль сдвига Сан-Андреас [Moody, Hill, 1956].



Другим примером анализа такого рода может служить реконструкция напряжений рисунку морфоструктур вдоль описанного выше основного разлома Камчатки (рис. 23).

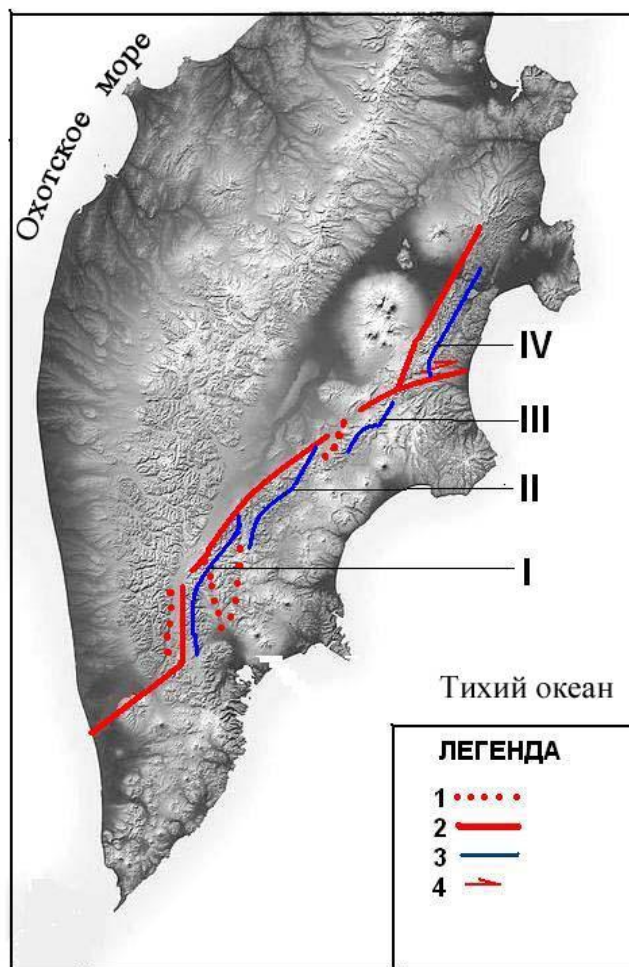


Рис. 23. Морфоструктуры Восточного хребта, предположительно образованные растяжением, ориентированным вдоль основного разлома. Рисунок выполнен В. И. Белоусовым по проекту Э. Эрлиха.

1. – Щелевидные грабены, частично выполненные рыхлыми флювиальными и пиркластическими отложениями, 2 –Основной разлом Камчатки, 3 – оси поднятых блоков эрозионно-тектонического рельефа, образующих элементы хребта Камчатки, 4 – предполагаемое направление растягивающих усилий вдоль основной системы Восточного разлома Камчатки. Хребты, образующие элементы Восточного разлома Камчатки: I – Ганальские Востряки, II – Валагинский хребет, III – хребет Тумрок, IV – хребет Кумроч.

На участке, соответствующем Восточному хребту, движения по нему ориентированные вдоль его оси формируют систему нескольких хребтов – Ганальские востряки, Валагинский хребет, образованные поднятыми блоками эрозионно-тектонического рельефа и разделенные узкими линейными грабенами (грабены долины реки Авача, рек левая и правая Авача, верховий реки Щапина). Общий рисунок этих поднятых блоков соответствует расположению будин, образованных под воздействием растягивающего усилия направленного вдоль оси блока. В их пределах накоплена толща флювиальных отложений и локализируются относительно небольшие базальтовые шлаковые конуса и лавовые вулканы. Самым крупным среди них является стратовулкан Бакенинг (рис. 24). Вулканические аппараты занимают позицию трещин отрыва в дне грабенов, которые использовались магмой при подъеме к поверхности. Это определенно свидетельствует об обстановке общего растяжения. Можно предположить, что ширина грабенов (первые километры, до 10 км) отражает суммарный эффект растяжения, ориентированного вдоль оси Восточного хребта.



Рис.24. Вулкан Бакенинг на поверхности плоской флювиальной равнины в грабене реки Авача. www.mountainadventure.ru

Пока рассматривались островные дуги и связанные с ними тектонические системы западной части Тихоокеанского кольца дискуссии велись в рамках первоначальной версии тектоники плит. Разве что упоминалось о том, что перед фронтом дуги не всегда располагаются блоки с океанической корой, и выходило, что блоки с развитым гранитным слоем погружаются («загоняются») под блоки с более тяжелой корой океанического типа. Но тут вступала в силу классическая отговорка «вы рассматриваете не ту версию тектоники плит».

Было показано, что крупные океанические плато не могут быть субдуцированы. Такие мощные плато устойчивы к процессам субдукции, сминают желоба и смыкаются с островными дугами в ходе процессов аккреции [Cloos, 1993, Saunders et al., 1992]. Следует напомнить о том, что Г. Клоос является общепризнанным авторитетом по структурной геологии.

Уайт и Маккензи [White and McKenzie, 1989] показали, что такого рода метасоматически-обогащенная оболочка может быть естественным результатом восходящего потока летучих. Принятие гипотезы о существовании такой рода оболочки делает ненужными все предположения о существовании суперплюмов.

Эти работы ставят точку на природе движений по сейсмофокальной зоне. С учетом приведенных данных о природе сейсмических очагов и вертикальном падении пластин ее составляющих следует оставить представления о надвиговом (или поддвиговом) ее характере. Взамен этого правильная терминология должна использовать выражение продвижение теплового фронта (или фронта метаморфизма).

Хуже обстояло дело при попытках отождествления с островными дугами древних вулканических поясов, или при попытках идентифицирования с островными дугами или их элементами подвижных поясов восточной (Американской) половины Тихоокеанского кольца. Считалось, что Восточно-Тихоокеанское поднятие находит прямое продолжение в вулканическом поясе Каскадных гор и грабене Калифорнийского залива, а последний отождествлялся с рифтом срединноокеанического хребта. Это утверждение трудно объяснить иначе чем абберрацией, поскольку на любой физикогеографической карте видно, что грабен Калифорнийского залива прямо продолжает Центральноамериканский глубоководный желоб и с другой стороны по простиранию продолжается глубинным сдвигом Сан Андреас. Как правило, оставляется за рамками дискуссии то, что Трансмексиканский вулканический пояс пересекает Центральную Америку и имеет чисто сдвиговую природу [Seth, Torres-Alvarado, Verma, 2000]. Представляется, что следует признать, что отдельные структурные элементы системы островной дуги могут развиваться автономно, вне связи с другими ее элементами и, благодаря сдвиговой природе основных разломов, способны равиваться по простиранию. Предполагаемое соотношение Восточно-Тихоокеанского поднятия со структурами Тихоокеанского побережья США изображено на рис.27. Калифорнийский залив рассматривается как зона спрединга, продолжающая к югу право-сдвиговой разлом Сан-Андреас Рифтовые долины в этой зоне также эшелонированы по типу правого сдвига (сравни со схемой кулис трещин отрыва на рис.13).

Трансмексиканский вулканический пояс имеет то же простирание, что и гигантские разломы, прослеженные по геофизическим данным на дне прилегающей части Тихого океана, также имеющие сдвиговую природу (см. рис. 25).

Распределение систем трещин и структур в околосдвиговых зонах хорошо изучено [Moody, Hill, 1956]. Приводимый ниже рисунок 18 показывает распределение разломов и складок

волочения на крыле сдвига Сан-Андреас. Пользуясь данными этих исследователей, можно попробовать решить обратную задачу – по рисунку околосдвиговой системы трещин и структур реконструировать динамику движений по разлому.

Как мы видели, и геолого-геофизические материалы «типоморфных» островных дуг западной части Тихоокеанского кольца не укладываются в прокрустово ложе плит-тектоники. Несоответствие становится еще более разительным при рассмотрении материалов по тектоническим системам, само название которых входит в название «плит тектоника». Речь идет о платформах, другое название которых «плеитс» (плиты) [Эрлих, 2016]. В оригинальной версии они рассматривались как чисто пассивные элементы – своего рода аналог льдинам, реагирующим на движения, генерируемые в островных дугах и срединноокеанических хребтах. Как было показано, в реальности их коллизия в ротационном поле Земли приводит к горообразованию, формированию таких мощных горных систем как Гималаи или Верхоянский хребет, то есть предполагаемые пассивные плиты выступают как главные двигатели тектонической машины. Платформы проходят однотипные этапы геологической эволюции, в ходе которой аккумулируется достаточное количество тепла для массовых излияний траппов.

Смит [Smith, 1993] показал, что мантийные астенолиты преобладают вдоль древних зон глубинных разломов, являющихся следами «горячих точек», возникающих как результат продольного рифтинга таких древних ослабленных зон. Продолжающиеся метасоматические процессы и прохождение летучих вдоль древних сутуров в течение миллионов лет приводят к формированию неглубоко залегающей обогащенной мантии, материал которой захватывается в ходе вулканического процесса [Bailey, 1982, Sheth, 1999].

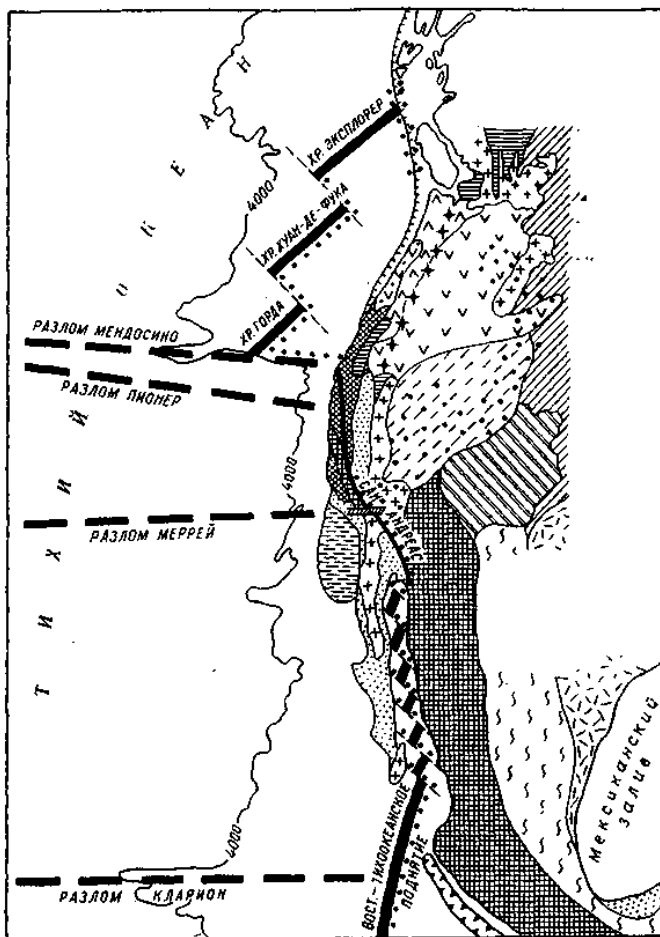
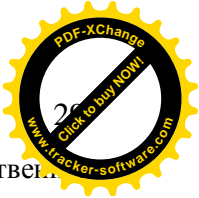


Рис. 25. Тектоническая схема рифтовых долин и трансформных разломов северо-восточной части Тихого океана [из Гончаров, Телицкий, Фролова, 2005].

1 — разлом Сан-Андреас; 2 — континентальный склон; 3 — Калифорнийское подводное окраинное плато; 4 — «разломы-гиганты» океанского дна; 5 — Восточно-Тихоокеанская зона спрединга; 6 — глубоководный желоб Центрально-Американской зоны субдукции; 7 — трансформные разломы; 8 — пояс эпицентров землетрясений (изображен условно); 9 — изобата



(м). Остальные условные обозначения относятся к континенту и в данном аспекте несущественны для горизонтальных движений противоположного направления.

Калифорнийский залив рассматривается как зона спрединга, продолжающая к югу правосторонний разлом Сан-Андреас. Рифтовые долины в малой спрединговой системе Хуан-де-Фука также эшелонированы по типу правого сдвига (сравни со схемой кулис трещин отрыва на рис. 27).

Нельзя не отдать должного изобретательности авторов этой схемы. Надо ли говорить, что какие-либо геолого-геофизические, подтверждающие рисовку предполагаемого окончания Восточно-Тихоокеанского поднятия, переходящего в грабен Калифорнийского залива и далее в разлом Сан-Андреас полностью отсутствуют. Зато она в точности отражает точку зрения на геодинамику этого района, господствующую среди геологов США. Представляется, однако, что вся эта изощренная работа маскирует простые отношения между основными структурными элементами – переход по простиранию глубоководного Центральноамериканского желоба в грабен Калифорнийского залива и далее в разлом Сан-Андреас. Это отражено на рис. 26, представляющего собой модификацию рис. 25.

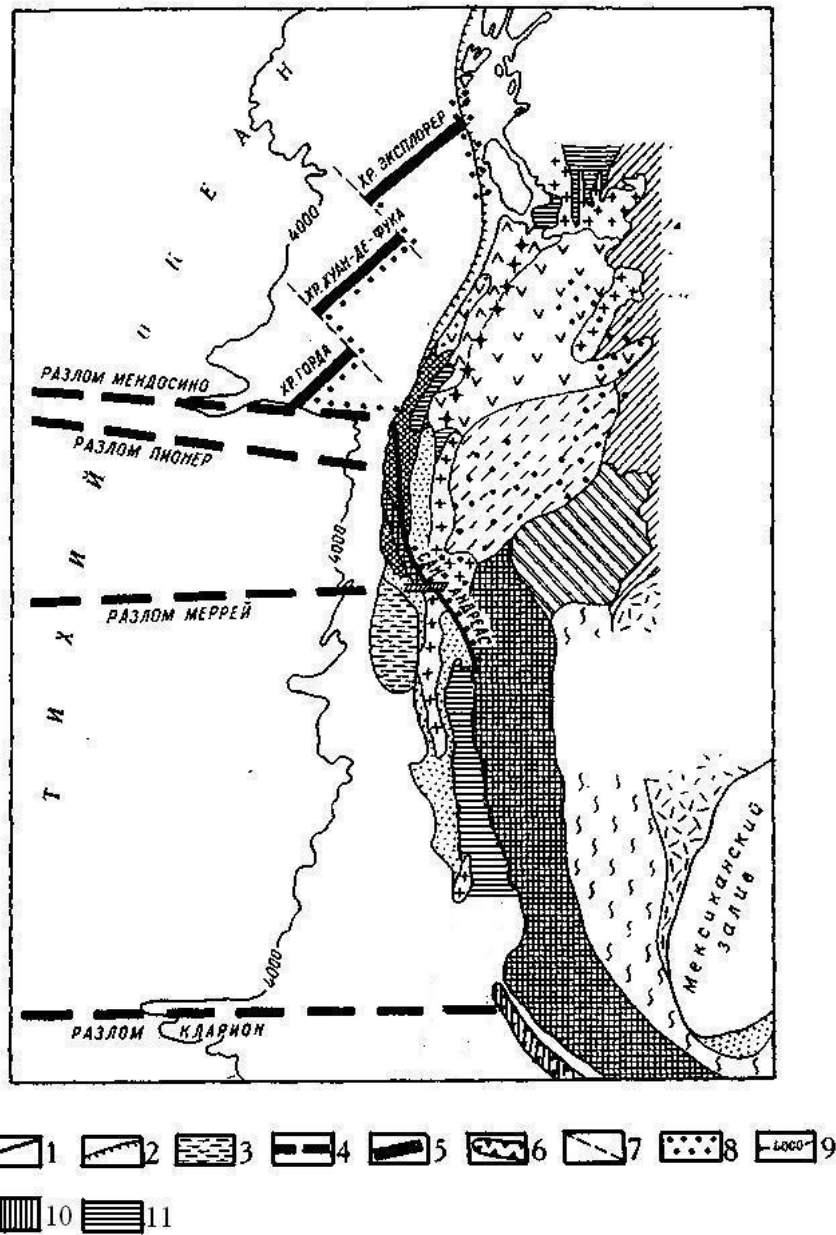
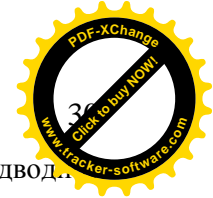


Рис. 26. Соотношение Центрально-Американского желоба, грабена Калифорнийского залива и разлома Сан-Андреас [упрощено из Гончаров, Телицкий, Фролова, 2005].



1 — разлом Сан-Андреас; 2 — континентальный склон; 3 — Калифорнийское подводное окраинное плато; 4 — «разломы-гиганты» океанского дна; 5 — Восточно-Тихоокеанская зона спрединга; 6 — глубоководный желоб Центрально-Американской зоны субдукции; 7 — трансформные разломы; 8 — пояс эпицентров землетрясений (изображен условно); 9 — изобата (м). 10 - Центрально-Американский желоб; 11 – грабен Калифорнийского залива.

Применение принципов плейт-тектоники к материалу Курило-Камчатской дуги можно найти в работах Г.П. Авдейко. На основе определения стратиграфического положения кремнисто-вулканогенных толщ автором намечены этапы миграции фронта Курило-Камчатской системы [Avdeiko, 1971, Авдейко, 1974]. Положительной чертой его работ является тщательное использование литолого-стратиграфической характеристики пород. Г.П. Авдейко определяет зоны инициального вулканизма по спилито-кератофировому составу вулканогенных пород в вулканогенно-кремнистых толщах и отмечает их миграцию во времени в сторону океана. В то же время возникает вопрос об отождествлении зон инициального вулканизма с глубоководными желобами. В последних, насколько мне известно, ни разу не отмечены проявления вулканизма этого типа. Большое значение имели собранные материалы по структуре и подводному вулканизму Курильской островной гряды [Авдейко и др., 1992]. Изучение проводилось в соответствии с первоначальным вариантом тектоники плит. Основы тектоники плит при этом не ревизовались.

МОДЕЛЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО ОЧАГА И ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ СЕЙСМОФОКАЛЬНОЙ ЗОНЫ

В настоящее время наиболее изученной представляется Курило-Камчатская сейсмическая зона.

Курило-Камчатская сейсмофокальная зона является одним из самых активных участков циркумтихоокеанского пояса сейсмической и вулканической активности. Наблюдения за сейсмической активностью здесь осуществляются сетью сейсмических станций. Изначально часть станций принадлежала Институту вулканологии, а другая часть Тихоокеанской экспедиции Института физики Земли. В итоге многолетних непрерывных наблюдений была создана база данных в виде каталога КФ ГС РАН, с 1962 по настоящее время. Геометрия Курило-Камчатской зоны проанализирована в работах [Токарев, 1959, 1970, Lander and Shapiro, 2009]. Ориентировка векторов сжатия в очагах землетрясений представлена В. М. Зобиным [Zobin, 1979].

Преобладающими сейсмогенными движениями в литосфере островного склона Курило-Камчатского желоба являются субвертикальные восходящие перемещения масс, а не пологие надвиги и сдвиги-надвиги и, что сейсмогенные движения в литосфере и в фокальной зоне, а также ориентация напряжений в очагах, не могут быть приняты за обоснование схемы субдукции [Балакина, 1987]. С точки зрения сейсмических данных более вероятным является представление о фокальной зоне как зоне контакта областей мантии с разными свойствами – аномальной мантии тылового бассейна и холодной плотной океанической мантии. [Кузин, 1974, Павленкова, 1989.] Проявляющиеся закономерности ориентации разрывов, подвижек и напряжений в очагах землетрясений позволяют высказать гипотезу, что такая зона контакта представляет собой область дифференцированных, преимущественно субвертикальных, перемещений масс. Однако она также предполагает, что наряду с преобладающим восходящими движениями, при которых более полого ориентированы напряжения сжатия, появляются землетрясения, вызванные нисходящими движениями которые, возможно, сопровождаются объемными деформациями, связанные с фазовыми переходами в мантии.

С геомеханической позиции поддвиг и надвиг является тектоническим выражением процесса сдвига. Результаты модельных экспериментов показывают, что образование поддвига или надвига связано главным образом не с направлением действия тектонических сил, а с «граничными условиями» (разницей в плотностях контактующих блоков и пределами их прочности на сжатие, и особенно с наклоном плоскости контакта). Показано, что в условиях сжатия более легкие слои обычно надвигаются на более плотные, а слои с меньшим пределом прочности – на слои с большим пределом прочности. Отсюда следует, что в условиях сжатия скорее будет происходить надвиг континентальной коры на океаническую, чем поддвиг последней под континентальную. Таким образом, в условиях сжатия, вдоль зоны контакта континентальной и океанической коры развивается надвиг, что приводит к образованию системы дуга – желоб, иногда – с образованием задугового бассейна – за счет локального растяжения [Wenyou Zhang, Fuchen Ma, Jiazeng Shan, 1985]. С интерпретацией этих модельных экспериментов можно было бы



согласиться, но без тектонических сил здесь не обойтись. Откуда берется сдвиг, который сам по себе произойти без внешней силы не может; имеет вектор силы и сдвиг происходит по границе плотностной неоднородности? Он может произойти при расширении (разуплотнении), т.е. увеличении объема и возникновении напряжений на внешней границе с вмещающей средой. Вектор силы направлен наружу, т.е. в сторону расширения. Либо при усадке, т.е. уплотнении (упрочнении) вещества, (уменьшении объема). При этом максимум напряжения возникает на границе с веществом другой плотности (прочности). Вектор силы направлен внутрь. Если рассматривать восточный вулканический пояс Камчатки как восходящее вертикальное смещение нагретого и разуплотняющегося вещества, со всесторонним внутренним давлением, за счет тепла, то на границе аномального расширяющегося объема (слое самоизоляции) будут создаваться давления (силы). Эти силы на границе во вмещающих породах будут создавать сжатие, и силы будут направлены наружу из аномального объема. Со стороны Срединного хребта и Центрально-Камчатской депрессии вмещающие породы будут холодные и более плотные. Со стороны океана вмещающие породы будут менее прочные, т.к. они раздроблены многочисленными землетрясениями, происходящими в основном на материковом склоне Камчатки, за счет повышенного теплового потока. Т.е. более теплой и неоднородно разуплотненной магматическими очагами и разломами земной коры и верхней мантии в районе глубинного разлома, определяющего сейсмофокальную зону. Поэтому результирующая сила – тектоническое выражение сдвига, будет направлена в сторону менее плотного вещества (на восток), тем более что еще мощность горных пород от аномального объема до континентального склона глубоководного желоба во много раз меньше чем на запад, в сторону Срединного хребта. Таким образом, мы видим, что для смещения в сторону океана требуется меньше усилий для организации сдвига, чем в сторону континентальной части Камчатки.

Также мы предполагаем, что смещение континентального блока происходит не по верхней границе сейсмофокальной зоны (которую пытаются представить смесителем), а по границе М, т.е. по границе фундамента, где метаморфизованный вулканогенно-осадочный чехол земной коры надвигается на наружную границу глубинного разлома, представляющего фокальную зону. Фронт надвига земной коры подвержен интенсивному тектоническому дроблению. Что и отмечается интенсивной сейсмичностью приповерхностных землетрясений материкового склона. Этот процесс создает условия для дальнейшего смещения земной коры на океанический слой или продолжения процесса континентализации.

В соответствии с господствовавшей ранее моделью очага как отражением хрупкой деформации, отдельные гипоцентры в пределах сейсмофокальной зоны рассматривались как результат хрупкой деформации в процессе смещения прилегающих блоков, а сейсмофокальная зона в целом как отражение сместителя - надвига (или поддвига). Отказ от этой модели должен был привести к пересмотру физической природы сейсмофокальной зоны.

Изменение представления о геометрии и физике очагов землетрясений привело к необходимости пересмотра представлений о структуре сейсмофокальных зон.

Очаговая зона сильных и разрушительных землетрясений – объемная, неустойчивая энергонасыщенная структурная неоднородность земной коры, формирование и функционирование которой связаны со структурно-вещественными преобразованиями в локальных очагах [Литовченко, 2015]. Что не противоречит, ранее высказанным выводам о Камчатской сейсмогенерирующей зоне [Балакина, 1992], где показано, что она охватывает литосферу островного склона желоба между - 47 и 58 град. с.ш.; ее длина примерно 1500 км, ширина южнее 54 град с.ш. 150 – 200 км, затем уменьшается; глубина заложения 70 – 100 км, отвечает, по-видимому, подошве литосферы, ниже которой нарушается единая закономерность механизма очагов. Исследованные землетрясения подтверждают известную единую закономерность механизма очагов в литосфере островных склонов желобов. Очаги – крутые взбросы преимущественно продольного простирания с падением в сторону океана; оси напряжений ориентированы: сжатия – ортогонально дуге под небольшим углом к горизонту с наклоном в сторону Тихого океана; растяжения – круто, с падением в противоположную сторону, промежуточное – вдоль дуги и субгоризонтально. Границами больших очагов являются преимущественно крутые взбросы или взбросо-сдвиги, косо секущие дугу в азимутах около 70 град (от 60 до 90). Несколько толчков М- 6,5, происшедших внутри желоба, вызваны сбросами и сбросо-сдвигами с горизонтальной осью растяжения. Зона состоит из нескольких основных подзон в соответствии с наличием подводных хребтов в островном склоне. Каждая подзона включает

геологически фиксированные крупные очаги в виде продольных взбросов с крутым падением в сторону океана, глубиной заложения несколько десятков км, с максимальными длинами 300 – 500 км. Кроме наиболее крупных подзоны содержат наборы очагов разных меньших размеров, в том числе длиной в десятки километров, порождающих толчки с магнитудами 7 – 7.5. Единый преимущественный тип очагов в виде продольных крутых взбросов отражает единый сейсмогенный тектонический процесс – поднятие подводных хребтов в островном склоне.

В рамках объемной модели очаги сильных коровых землетрясений представляются разуплотненными колоннами в земной коре, верхняя часть которых взаимодействует с гидросферой, а нижняя размывается в астенолитах литосферы. Колонны имеют неправильную форму, что обусловлено особенностями тектонического строения региона.

Физическую природу формирования очаговых зон японские, европейские, американские и другие сейсмологи объясняют с позиций «теории новой глобальной тектоники», и очаг рассматривается как плоскость (поверхность) между контактами. Однако в существующих физико-математических моделях сейсмических процессов не уделялось серьезного внимания физическим и химическим законам, управляющим современными геологическими процессами. Эти факторы не учитывались при расшифровке сейсмических событий. В рамках существующих концепций, о том, что очаги землетрясений формируются, главным образом, при движении континентов под воздействием внутриземных сил, установленными фактами о планетарных и глобальных изменениях сейсмических процессов не объясняются. Как следствие, методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений, разработанные на основе таких представлений, не оправдываются. На смену широко распространенной концепции о том, что сейсмические процессы генерируются в основном за счет внутриземных источников энергии, развивается научная парадигма о динамическом их развитии с учетом сложных взаимосвязей между процессами внутриземного и внеземного происхождения [Курскеев, 2011, Курскеев, Жданович, 2010]. Возможно, Мартьянов Н.Е. [Мартьянов, 1968] один из первых обосновал взаимодействие космических и внутриземных процессов. Эти представления настолько опережали время, что ему не дали возможность защитить даже кандидатскую, но его подход находит современные подтверждения и этот подход в геологии начинают называть «мартьяновщиной». По подобию, как раньше поступили с А.Л.Чижевским – «чижевщина», однако гелиобиологию Чижевского в настоящее время признали. Думается, что подходы к геонии, высказанные Н.Е.Мартьяновым в непризнанном официальной наукой труде и посмертно напечатанном малым тиражом книге [Мартьянов, 2003], за счет коллег по работе, найдет признание и понимание.

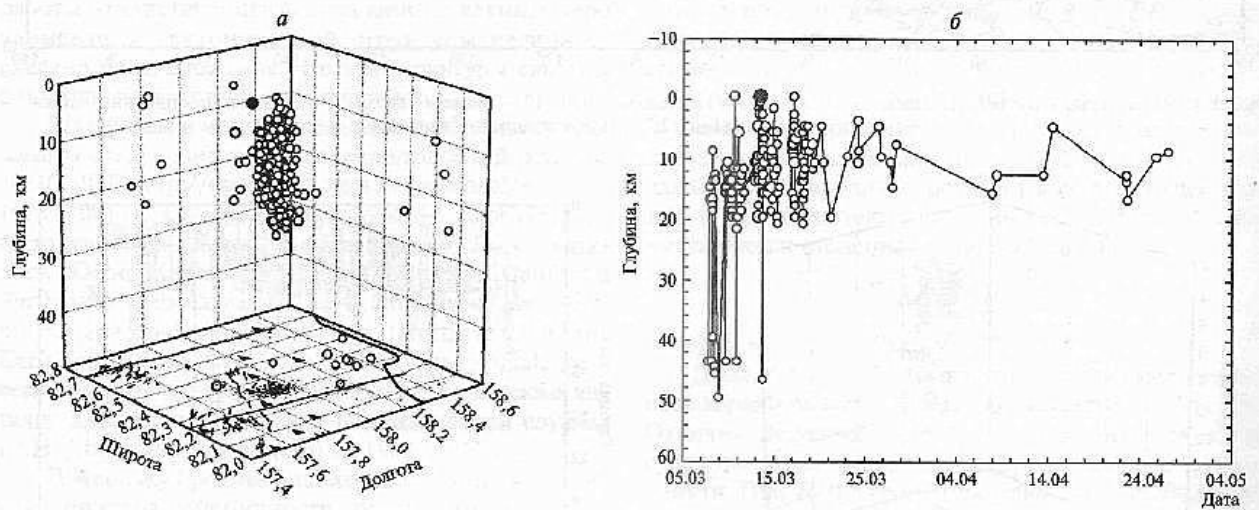
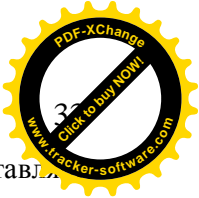


Рис. 27. Сейсмический «гвоздь» в Южной Камчатке, образовавшийся в марте 1983 года [Захаров, 2013]:

а - трехмерный вид «гвоздя», показаны также эпицентральные проекции очагов, проекции вулканов (треугольники), контуры береговой линии (черные линии) и активные разломы; б – последовательность изменения глубины очагов землетрясений при формировании «гвоздя». Черные кружки – землетрясение с $M_1=5.3$, белые кружки – землетрясения с M_1 менее 5.



Очаг землетрясения 2004 года в районе Суматры, с которым связано цунами, представлял крутой взброс северозападного простирания с падением в сторону Индийского океана, протяженностью примерно 450 км [Балакина, 2002]. По результатам наблюдений спутниковой геодезии [Рогожин, 2011] показано, что при катастрофическом землетрясении в Японии 11 марта 2011 г, с $M=9.0$, блок литосферы длиной около 600 км и шириной порядка 100 км испытал вертикальную подвижку до 8 – 10 м на континентальном склоне острова Хонсю [Балакина, 2011] Такие смещения не удается адекватно объяснить с точки зрения классической теории тектоники плит.

Д. Г. Осика и В. И. Черкашин [Осика, Черкашин, 2004] разработали серию моделей, рассматривающих сочетание диффузии жидкостей и динамической обстановки. По определениям авторов, в моделях диффузионно-дилатантной и лавинно-линейной размеры областей формирования сильных землетрясений не превышают десятков км, т. е. они локальны, тогда как радиусы их составляют 300-400 и более км.

В нашей парадигме очаги сильных землетрясений представляются не локальными, а региональными диссипативными образованиями, периодически вовлекаемыми в тектонические напряжения, они обусловлены разуплотнением вещества астеносферы и эволюционируют в соответствии с особенностями нелинейной геодинамики конкретных структур.

Основы тектоники плит образуют представления о двух типах глубинных процессов – спрединге в срединно-океанических хребтах и субдукции в островных дугах и сходных с ними геотектонических системах (типа Камчатки и Тайваня). О соотношении обоих типов геотектонических систем с моей точки зрения дает геология острова Мак-Куори [Эрлих, 2012]. Общее представление о механизме субдукции отражает механизм, предложенный ранее в работе [Ringwood, 1975].

Наиболее концентрированное изложение проблем для тектоники плит, связанных с сейсмологией, является работа М. В. Родкина [Родкин, 2004] на которой и основан существенно приводимый ниже обзор проблемы.

В настоящее время наиболее изученной представляется Курило-Камчатская сейсмическая зона.

Материковый склон Камчатки находится под влиянием сейсмичности линейных валов взбросового характера [Балакина, 2002]. При этом океаническая плита монолитна и не подвержена никаким деформациям [Cloos, 1993, Saunders et al., 1992]. По имеющимся данным Курило-Камчатская сейсмогенная зона разделяется на ряд подзон, субпараллельных островной дуге и приуроченных к подводным хребтам островного склона желоба. Каждая подзона представляет собой систему разномасштабных очагов. Ведущий тип последних – крутые продольные (т. е. ориентированные вдоль дуги) взбросы, падающие в сторону океана, с глубиной заложения до 70-100 км, где возможно располагается граница литосферы. Подобный ведущий тип очагов крупных землетрясений присущ и другим островным дугам Тихого океана [Балакина, 2002].

Очень важен вывод М. В. Родкина о том, что «нет оснований полагать, что генезис землетрясений на глубинах более 250-300 км связан с высоким поровым давлением флюида, но нет указаний и на принципиальное различие величин сейсмогенных напряжений в очагах коровых и глубоких землетрясений и не может считаться указанием на качественное изменение фокального процесса. Другие отличия глубоких землетрясений состоят в большей «гладкости» зоны очага и в малом числе афтершоков и также не носят принципиального характера» [Родкин, 1999].

Модель, учитывающая роль флюида, как катализатора метаморфических превращений горных пород, названа флюидо-метаморфогенной моделью [Калинин, Родкин, Томашевская, 1989]. Она является адаптацией фазовой модели генезиса землетрясений. Интересно отметить, что вывод о метаморфогенных процессах в очагах землетрясений сделан без учета ранее опубликованных данных о метаморфогенной природе кислых магм [Маракушев, Тарарин, 1964, Эрлих, 1973], что, как мне кажется, служит дополнительным подтверждением метаморфогенной гипотезы.

Согласно с этой наименее противоречивой из имеющихся в настоящее время метаморфической моделью, сейсмофокальная зона предстает как фронт глубинного метаморфизма (упрощенно она может рассматриваться как отражение температурного фронта).

На роль универсальных индикаторов сильных землетрясений, как нам представляется, пока претендуют региональное изменение плотности теплового потока в атмосферу с одновременными нарушениями гидрогеодинамического режима скважин и минеральных



источников, колодцев на этой же территории, независимо от формы дебитов и уровней флюидов. По-видимому, метод дипольного электрического зондирования, что полностью отвечает идее фронта метаморфизма.

Как это подразумевалось общей для советской геологии того периода моделью, существенные горизонтальные перемещения отрицались. Представления о геологии Камчатки соответствовали этой концепции. Выработанная нами модель развития современной структуры и четвертичного вулканизма Камчатки была представлена на сессии Генеральной ассамблеи международного геофизического и геодезического конгресса (МГГК) в Москве и высоко оценена генеральным секретарем международной ассоциации вулканологии и химии недр Земли (IAVCEI), профессором П. Эвваром. Он считал, что публикация нашей работы на английском языке будет интересна для западных вулканологов и предложил нам подготовить материалы для специального выпуска международного Бюллетеня вулканологии, посвященного Камчатке, что и было нами сделано [Erlich, Gorshkoy, eds., 1979].

СЕЙСМИЧНОСТЬ ВО ВНУТРЕННИХ ОБЛАСТЯХ ПЛИТ

Основным следствием тектоники плит является признание того, что землетрясения генерируются на границах плит в ходе их взаимодействия. Но это положение в корне противоречит пространственному распределению эпицентров землетрясений на Северо-Американской платформе.

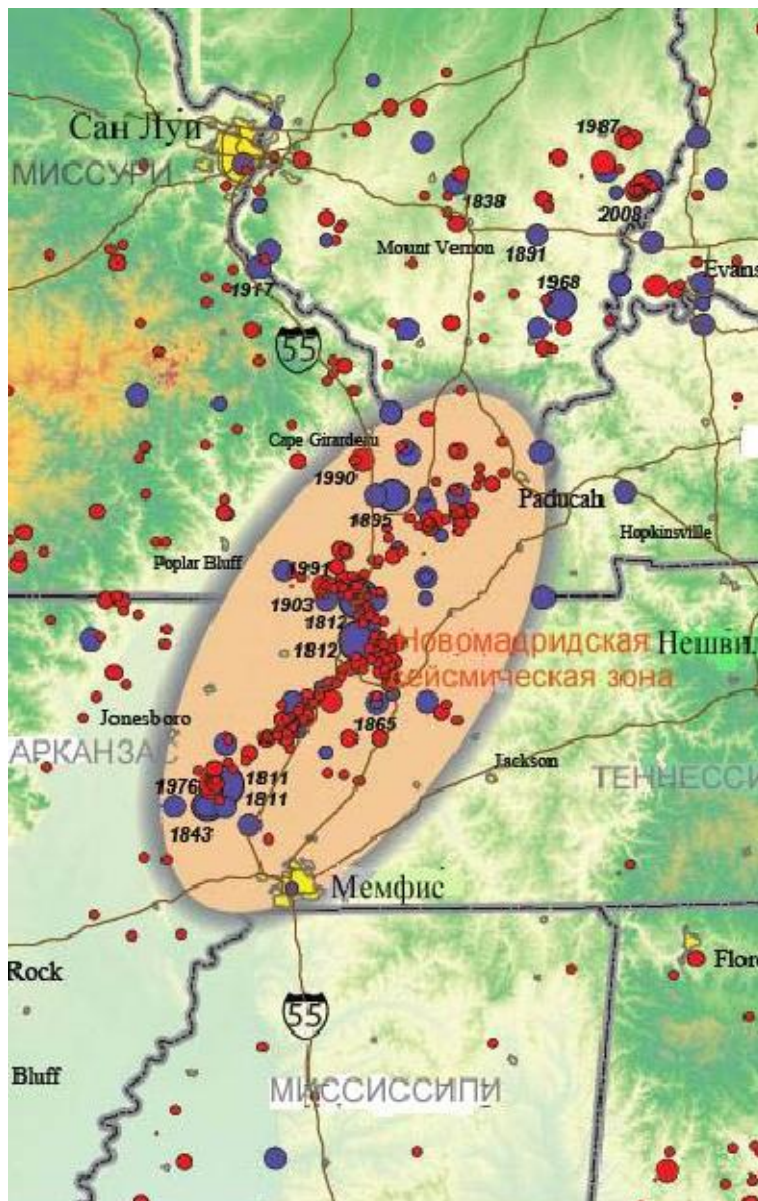




Рис. 28. Топографическая карта, показывающая эпицентры землетрясений с амплитудой 2.5 (кружки) в центральной части США. [Geology.com, Earthquake Hazard in the New Madrid seismic zone].

Красные кружки соответствуют землетрясениям, произошедшим после 1972 года из «Предварительного каталога определения эпицентров геологической службы США». Синие кружки – эпицентры землетрясений произошедших до 1972 года из того же «Предварительного каталога определения эпицентров геологической службы США». Крупные кружки соответствуют крупным землетрясениям. Темным желтым цветом показаны городские площади с населением более чем 10 000 человек.

Люди в древности думали, что землетрясения бывают только в горах и по берегам морей тогдашней ойкумены (обитаемой Земли). Действительно, в горных районах, где земная кора живёт особенно активной, временами даже бурной, жизнью, подземные толчки случаются чаще. Однако теперь хорошо известно, что землетрясения, иногда даже разрушительные, могут возникать и на равнинах, где их обычно не ожидают. Разве могли жители равнины по берегам Миссисипи в начале XIX века предположить, что в один ужасный день доселе мирная и спокойная земля станет рваться и трескаться, выбрасывая фонтаны воды с песком и грязью, деревянные дома зашатаются, а деревья будут раскачиваться, кланясь до земли. Именно это происходило трижды в период с 1811 по 1812 г., когда в центральной части североамериканского континента разразились сильнейшие землетрясения в 10—11 или даже 12 баллов. Американский писатель Марк Твен знал о землетрясениях. Герой его рассказа «Миссис Мак-Вильямс и молния» признаётся: «...После того как из-за меня произошло землетрясение четыре года назад, я ни разу не забывал молиться».

Сильные подземные толчки имели место в конце 1811-начале 1812 года в районе города Нью-Мадрид, штат Миссури. В те времена не было приборов, позволяющих оценить силу землетрясений, однако в 1980е годы специалисты определили его магнитуду в 8 баллов и выше. Сейсмолог Сюзан Хог (Susan Hough) считает, что магнитуда достигала почти 7 баллов. Район землетрясения является частью Нью-Мадридской сейсмической зоны, охватывающей части штатов Миссури, Арканзас, Теннесси (рис. 25). Л. Сайкс [Sykes, 1978] предположил, что активность Нью-Мадридской зоны связана с ослабленными участками в коре (древние разломы, интрузии) благоприятно ориентированными относительно регионального поля напряжений. Прямого совпадения Нью-Мадридской сейсмической зоны с поясом высоких аномалий магнитного поля и поля силы тяжести нет, изображенного на рис. главы [Эрлих, 2016]. Они параллельны друг другу. Проявления разломной тектоники на поверхности отсутствуют.

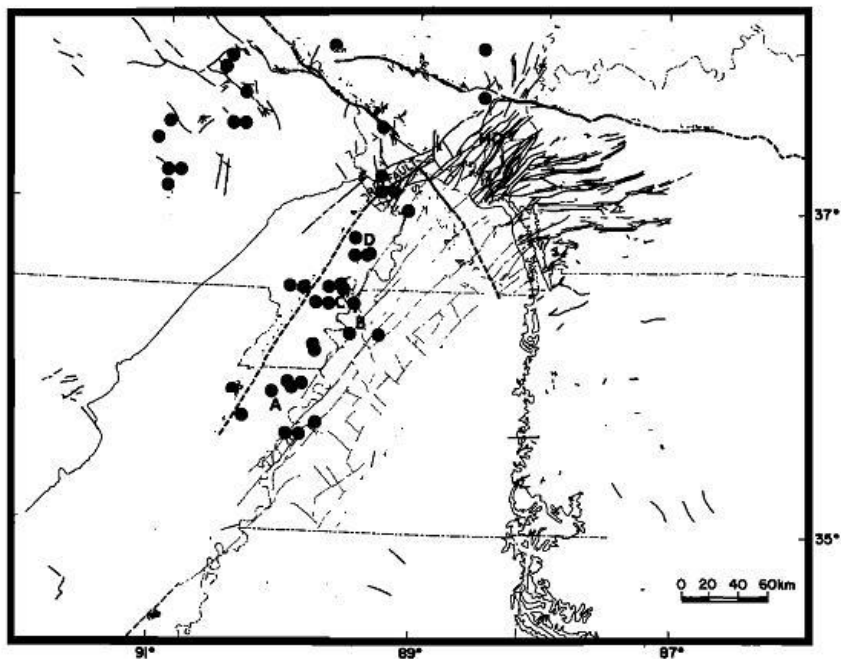


Рис.29. Эпицентры и разломы вдоль Нью-Мадридской сейсмической зоны. В центральной части США. По [Sykes, 1978]. Сравнение с рис. 22 показывает параллельность эпицентральной зоны



окончанию линейной зоны высоких значений аномалий магнитного поля и поля силы тяжести (Мид-Континент Хай).

Сходные сильные землетрясения в этой области отмечены в 2350 году до н. э., в 900 и 1450 годах н.э. Они фиксируются по выбросам на поверхность водонасыщенного песка. Землетрясение силой 6,7 балла было отмечено 31 октября 1895 года близ Чарльстона, штат Миссури, и землетрясение силой 6,3 балла произошло 5 января 1843 года близ города Лепанто, штат Арканзас [Facts about the New Madrid seismic zone]. Характерно отсутствие ослабления силы землетрясений, непосредственно следовавших за сейсмическими событиями 1811-1812 года, которое должно было бы иметь место, если бы это были афтершоки.

А.Ф. Грачев [Grachev, 1982] высказал предположение, что различные условия проявления внутрикоровой сейсмической активности связаны с различным расстоянием Срединно-океанических хребтов от границ плит. Эта идея была развита в статье А.Ф. Грачева и Ш. А. Мухамедиева [Грачев и Мухамедиев, 1995], где авторы ставят вопрос о причине полной асейсмичности Восточно-Европейской платформы и сейсмической активности в пределах Северо-Американской платформы. Авторы стараются в точности следовать оригинальной концепции тектоники плит: плиты пассивны и двигаются только под воздействием внешних усилий. Они прямо говорят, что источником движущей силы являются срединно-океанические хребты, «толкающие» плиты, при этом не уточняя, о каких срединно-океанических хребтах идет речь. В случае Северо-Американской платформы можно говорить о двух срединно-океанических хребтах: Срединно-Атлантическом хребте и Восточно-Тихоокеанском поднятии. В случае Восточно-Европейской платформы никаких срединно-океанических хребтов в ближайшем окружении нет вообще. Ссылка авторов на атлантическое побережье Норвегии попросту неверна. Не меняет дела и привлекаемый здесь авторами математический аппарат. В реальности ситуация в рассматриваемых сейсмичных районах в точности соответствует геологии продолжения Уджинского авлакогена на юг, в поле развития кембрийских толщ, и района проявления Маймеча-Котуйской провинции ультраосновных-щелочных пород к западу от Анабарского щита. Землетрясения могут явиться результатом разуплотнения мантийного материала в районах проявления ультраосновного-щелочного магматизма, или результатом перетекания материала в ходе восстановления изостатического равновесия, что обычно для геологического развития платформ [Эрлих, 2016]. Несоответствие геолого-геофизических данных положениям плейт-тектоники отнюдь не означает возврата к «тупому фиксизму». Предполагается вообще, что сами термины «фиксизм», «мобилизм» в общей форме не имеют смысла. Работа над геодинамикой платформ [Эрлих, 2016] со всей очевидностью показала, что даже в геотектонических системах, которые считались почти исключительного проявления вертикальных движений, именно горизонтальные напряжения играют решающую роль в структурообразовании. Более того, рассмотренные материалы показывают, что имеются два разных по генезису типа горизонтальных движений:

Характерные значения сейсмогенных напряжений (кажущиеся напряжения в очагах и сброшенные напряжения) имеют тенденцию не уменьшаться, а увеличиваться по мере удаления от границ плит [Касахара, 1985, Scholz et al., 1986, Раутиан, Халтурин, 1991]. Это принято объяснять повышенной плотностью разломов вдоль границ плит и связанной с этим меньшей их прочностью [Касахара, 1985].

Но дело в том, что, распространяясь от границ плит, напряжения могут только уменьшаться, но не возрастать во внутренних областях [Грачев, Мухамедиев, 1995]. При относительно низких температурах земной коры превращения в твердых телах затруднены и только наличие катализатора (обычно водного флюида) открывает возможность относительно быстрой разрядки напряжений. Механическое (расширяющее) воздействие водного флюида дополняется химическим взаимодействием в системе горная порода – водный флюид

Рост значений сейсмогенных напряжений вдоль границ плит (где число очагов очень резко уменьшается) ставит под сомнение и общепринятые положения об увеличении числа землетрясений в областях тектонических напряжений.

Максимум сейсмичности приходится на границы плит, что согласуется с представлениями о том, что именно эти границы являются источниками тектонических напряжений. Анализ данных о напряженном состоянии литосферы свидетельствует, что генерализованная ориентация планетарного поля напряжений, хорошо соответствует современной схеме взаимодействия плит,

рассчитанной по формуле [Abe, 1982]. Это ставит под сомнение положение об обусловленности сейсмических напряжений движениями тектонических плит.

В заключение Грачев формулирует вывод о том, что представляется весьма вероятным существование в литосфере разномасштабных полей внутренних напряжений, не связанных с тектоникой литосферных плит. При этом поля меньшего характерного размера, по-видимому, существенно более изменчивы и имеют относительно большие амплитуды.

Кроме того наблюдается относительная независимость как момента землетрясения так и плотности очага от величины напряжения. Общеизвестным затруднением этой модели являются малые значения напряжений, фиксируемые в разломных зонах и в очагах землетрясений. Для объяснения этого явления обычно привлекаются представления, связывающие малость сейсмогенных напряжений с компенсирующим давлением флюида в очагах землетрясений [Blanpied et al., 1992, Панфилов, 1994, Киссин, 1996, Родкин, 1993]. Ряд других положений традиционной модели сейсмогенеза также в той или иной степени вступают в противоречие с современными геолого-геофизическими данными.

В учебнике [Хаин и Ломизе, 1995] констатируется, что океанические плиты всегда двигаются под континентальные. Это - физическое противоречие, а именно: более тяжелые литосферные плиты (всегда океанические) уходят под другие, более легкие и *затем* погружаются в мантию, *что* объясняется, исходя из единства их состава. Тут вступают в действие уплотнение и преобразование минеральной структуры субдицирующей плиты. В частности, предполагается, что базальты погружающейся плиты преобразуются в эклогиты. В принципе этот процесс рассматривался в работе [Ringwood, 1975].

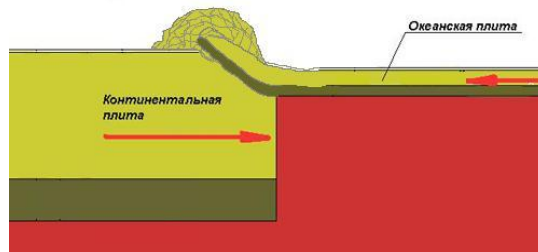


Рис. 30. Результат столкновения — океаническая плита ДОЛЖНА «наезжать» на континентальную! [Фисунов, 2009].

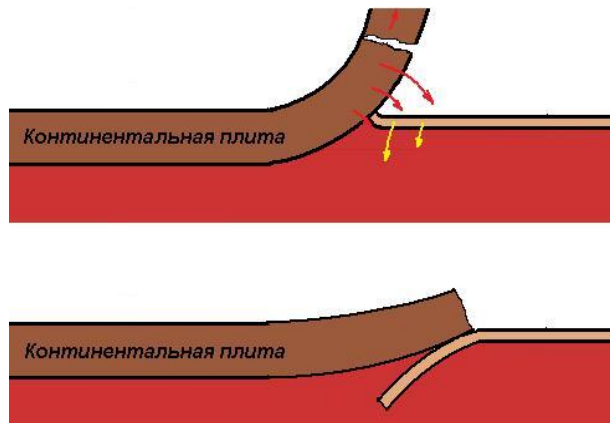


Рис. 31. Опускание отогнутой вверх континентальной коры на океаническую плиту. [Фисунов, 2009].

Сам по себе факт погружения океанической плиты сомнений не вызывает [Хаин, Ломизе, 1995]. Вопрос состоит в механизме, обеспечивающем этот процесс. Было в общей форме показано, что погружение океанической плиты невозможно [Cloos, 1993, Saunders et al., 1992]. Выход из положения подсказала гипотеза напорной флюидизации.

Очень важен вывод М. В. Родкина [Родкин, 1999] о том, что «нет оснований полагать, что генезис землетрясений на глубинах более 250-300 км связан с высоким поровым давлением флюида, но нет указаний и на принципиальное различие величин сейсмогенных напряжений в очагах коровых и глубоких землетрясений. Это не может считаться указанием на качественное изменение фокального процесса. Другие отличия глубоких землетрясений состоят в большей



«гладкости» зоны очага и в малом числе афтершоков и также не несут принципиальности характера».

Модель, учитывающая роль флюида как катализатора метаморфических превращений горных пород названа флюидо-метаморфогенной моделью [Калинин, Родкин, Томашевская, 1989]. Она является адаптацией фазовой модели генезиса землетрясений. Интересно отметить, что вывод о метаморфогенных процессах в очагах землетрясений сделан без учета ранее опубликованных данных о метаморфогенной природе кислых магм [Маракушев, Тарарин, 1964, Эрлих, 1973], что, как мне кажется, служит дополнительным подтверждением метаморфогенной гипотезы.

Согласно этой гипотезе находят объяснение трудности применения высоконапорной флюидной модели сейсмогенеза (по крайней мере, на качественном уровне).

Однако, М. В. Родкин тут же замечает, что на этом и кончается согласие данных по напряженному состоянию литосферы с положениями традиционной модели сейсмогенеза. Более детальное сопоставление выявляет особенности, противоречащие идее о предполагаемом согласии данных об обусловленности сейсмичности планетарным полем напряжений.

Тенденцию роста сейсмогенных напряжений принято объяснять повышенной плотностью разломов вблизи от границ плит [Касахара, 1985]. Это ставит под сомнение положение об обусловленности сейсмических напряжений взаимодействием тектонических плит.

Несоответствие друг другу отмечаемых нами фактов, а также невозможность найти им объяснение в рамках общепринятых представлений по физике землетрясения является принципиальным моментом. Разрешение известных парадоксов в физике Земли в рамках квантовой механики, по мнению В. В. Кузнецова [Кузнецов, 2001], может приблизить нас к пониманию природы самих землетрясений и явлений, имеющих непосредственную с ним взаимосвязь.

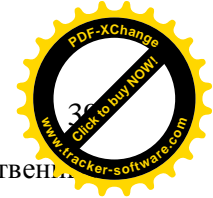
Пока рассматривались островные дуги и связанные с ними тектонические системы западной части Тихоокеанского кольца, дискуссии велись в рамках первоначальной версии теории тектоники плит. Только упоминалось о том, что перед фронтом дуги не всегда располагаются блоки с океанической корой, и выходило, что блоки с развитой гранитным слоем погружаются («загоняются») под блоки с более тяжелой корой океанического типа. Но тут вступала в силу классическая оговорка «вы рассматриваете не ту версию теории тектоники плит».

Было показано, что крупные океанические плато не могут быть субдуцированы. Такие мощные плато устойчивы к процессам субдукции, сминают желоба и смыкаются с островными дугами в ходе процессов аккреции [Cloos, 1993, Saunders et al., 1992]. МакКензи [Smith and MacKenzie, 1989] показали, что такого рода метасоматически-обогащенная оболочка может быть естественным результатом восходящего потока летучих. Принятие гипотезы о существовании метасоматически-обогащенной оболочки делает ненужными все предположения о существовании суперплюмов.

Но, как мы видели, и геолого-геофизические материалы «типоморфных» островных дуг западной части Тихоокеанского кольца не укладываются в прокрустово ложе плейт-тектоники.

Несоответствие становится еще более разительным при рассмотрении материалов по тектоническим системам, само название которых входит в название теории «плейт тектоника». Речь идет о платформах, другое название которых «плейтс» (плиты) [Эрлих, 2016]. В оригинальной версии они рассматриваются как чисто пассивные элементы – своего рода аналог льдинам реагирующим на движения генерируемые в островных дугах и срединноокеанических хребтах. Как было показано, в реальности их коллизия в ротационном поле Земли приводит к горообразованию формированию таких мощных горных систем как Гималаи или Верхоянье, то есть предполагаемые пассивные плиты выступают как главные двигатели тектонической машины. Они (платформы) проходят однотипные этапы геологической эволюции в ходе которой аккумулируется достаточное количество тепла для массовых излияний траппов.

Смит (Smith, 1993) показал, что мантийные астенолиты преобладают вдоль древних зон глубинных разломов и такие зоны наиболее благоприятны для появления разломов, являющихся следами «горячих точек», возникающих как результат продольного рифтинга таких древних ослабленных зон. Результатом продолжающихся метасоматических процессов и прохождения летучих вдоль древних сутуров в течение миллионов лет приводит к формированию неглубоко залегающей обогащенной мантии, материал которой захватывается в ходе вулканического процесса [Bailey, 1982, Sheth, 1999].



Как это подразумевалось общей для советской геологии моделью, существенные горизонтальные перемещения блоков коры отрицались. Представления того периода о геологии Камчатки отвечали этой концепции [Erlich, Gorshkov, eds., 1979].

- движения связанные с ротационными усилиями, возникающими при вращении Земли и
- горизонтальные усилия, связанные перетеканием подкорового материала в процессе восстановления изостатического равновесия.

Несоответствие всего геолого-геофизического материала основам теории плейт-тектоники с моей точки зрения должно служить стимулом, толкающим к сбору нового фактического материала и развитию новых идей в области геодинамики.

Мне доставляет искреннее удовольствие сослаться на статью Х. К. Шета [Sheth, 1999a], посвященной детальному разбору соответствия геолого-геофизических данных другой общей геотектонической концепции – мантийных суперплюмов. Вторая часть её названия так и звучит: «...fact, fiction, and fallacy» (факт, заблуждение и фантазия).

В то же время внедрение интрузий и пульсы тектонических перестроек имеют четкий эпизодический характер. Продолжительность эпизодов интенсивной магматической активности и тектонических преобразований соответствует разного рода космогоническим постоянным (канон Миланковича, закон Хейла) [Хаин, Ломизе, 1995, Milankovich, 1941, Широков, 2008, Земцов, Третьяков, 1985] и варьирует от десятков лет до нескольких миллионов лет.

Продвижение гипоцентров (с учетом современных представлений о природе сейсмических очагов) Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны, до широты южной оконечности острова Карагинский, в период времени до интервала 1990-1994 год, не означает горизонтального смещения фронтальной границы этой зоны на несколько сот километров. Это – всего лишь показатель смены ориентировки преобладающего направления давления. Изменение ориентировки происходит очень быстро, оно измеряется в масштабе времени и не превышает выбранного интервала осреднения (пять лет).

Отсутствие на участке от полуострова Озерной до широты южной оконечности острова Карагинский очагов землетрясений глубже 50 км не позволяет говорить о наличии здесь надвиговой структуры (рис. 2). Сдвиговый характер движений вдоль субвертикально-падающих пластин создает трещинные зоны, способствующие проникновению глубинных флюидов.

Наличие импульсов резкой активизации тектонических движений и интенсивности вулканизма стоит в центре дискуссий связанных с теорией динамики плит. Открытие системы магнитных аномалий, параллельных срединно-океаническим хребтам, привело к идее постоянства скорости тектонических и магматических процессов в океанах. В период создания канона Штилле данные о геологии дна океанов практически отсутствовали. Установленное позднее относительно равномерное распределение линейных магнитных аномалий на дне океана послужило основой для представлений о равномерности спрединга. Последние исследования установили пульсационный характер формирования офиолитовых формаций и связанных с ними метаморфических пород жадеит-глаукофанового метаморфизма на континентах, которые рассматриваются как аналоги океанических зон базальтоидного вулканизма связанных со срединно-океаническими хребтами [Богданов, Добрецов, 1987] и привели к пересмотру идей о равномерном распределении скорости спрединга океанического дна во времени. Наконец, исследование «черных дымов» поставляющих в океаны материал гидротерм показало неравномерность их активности, резкую интенсификацию накопления связанных с ними осадков в короткие интервалы времени 36-38, 24-25, 17-18, 9-8 и 5 миллионов лет назад [Короновский, 1997]. Это прямо подтвердило пульсационный режим поступления глубинных газов. Аналогичные выводы были сделаны при наблюдении эпизодического характера формирования крупных батолитов [DeSilva, Gosnold, 2007] и пульсах внедрения кимберлитов [Милановский, Мальков, 1980, Erlich and Hausel, 2002].

Существенные добавления к представлениям об причинах внутриплитных землетрясений внес один из основателей тектоники плит Л. Сайкс [Sykes, 1978]. Прежде всего, в этой работе, вышедшей намного раньше статей [Grachev, 1982, Грачев и Мухамедиев, 1995], в которых ссылка на статью Сайкса отсутствует, рассмотрены данные о сейсмичности всех платформ, а не только Восточно-Европейской и Северо-Американской и, главное, в рассмотрение вовлечены данные о магматизме ультраосновного-щелочного состава. Различие выводов в статьях А. Ф. Грачева и Л. Сайкса наглядно иллюстрирует, что дело совсем не в принятой тектонической гипотезе – она одна и та же в обеих группах статей, а самом подходе к анализу материала. Появление внутриплитной сейсмичности Л. Сайкс связывает с развитием в теле плит грабенов (по сути – авлакогенов). Но

глубинная тектоническая активность плит так и осталась табу. Результаты исследования сейсмичности Австралии и Африки приведены на рисунках 32,33.

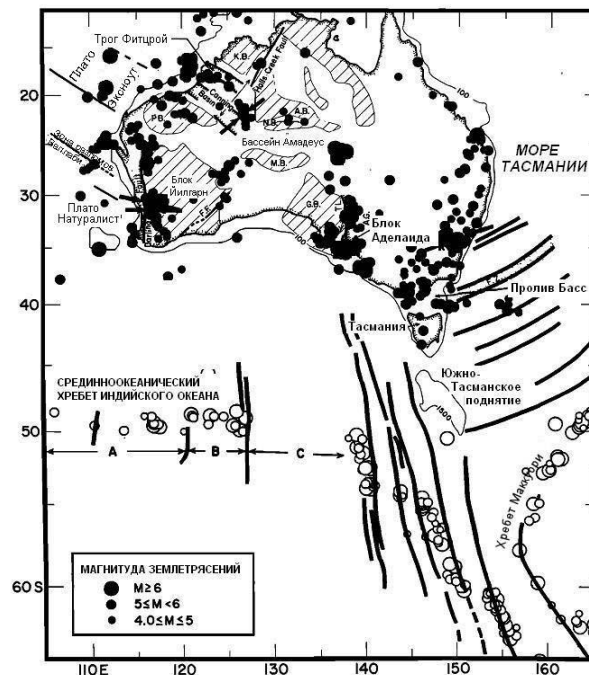


Рис. 32. Землетрясения в Австралии с 1975 года и восточной части Индийского океана с 1950 по 1966 год [Sykes, 1978].

Горизонтальные стрелки указывают направление максимального сжатия определенного по хорошо установленному фокальному механизму землетрясений. Положение кимберлитовых тел вероятно четвертичного возраста обозначены *b*. Древние кратоны испытавшие последнюю складчатость перед 1 млрд. лет указаны штриховкой. КВ – блок Кимберли; АВ– блок Арунта; МВ– блок Масгрейв; РВ– блок Пилбара; GB– блок Гоулер; AG – геосинклиналь Аделаида; FF – разлом Фрезьер; TL – линеамент Торренс; NB – бассейн Нгалиа.

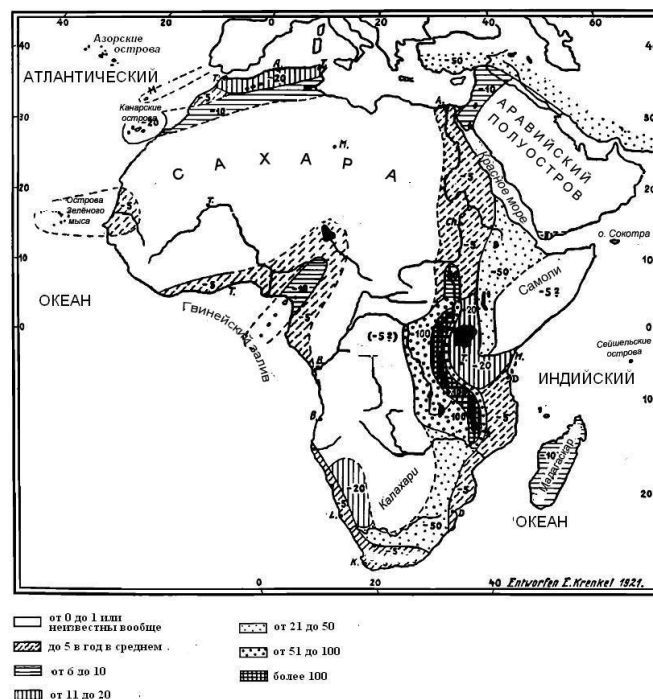


Рис.33. Средняя годовая плотность землетрясений в Африке. [Sykes, 1978].



Критика тектоники плит увеличивается с каждым годом, и в 2002 году Институт физики Земли выпустил специальный сборник статей [«Спорные аспекты тектоники плит и возможные альтернативы»]. Характерен эпиграф к этому сборнику: «Наука кончается там, где кончается дискуссия!», лауреат нобелевской премии, академик П. Л. Капица. В списке авторов крупнейшие специалисты по геологии океанов и сейсмологии: академики Г. Б. Удинцев, Ю. Н. Авсюк, геодезисты В. М. Гордин, И. А. Резанов, и другие. Учитывая крайне малый тираж сборника и нетерпимую обстановку, сложившуюся в российской геологии, сборник был перепечатан одним из самых популярных российских геологических журналов «Отечественная геология». Значимость этой публикации трудно переоценить. Но, к сожалению, вряд ли одна эта публикация изменит общее отношение к научной критике, царившее в советской науке и сохранившееся поныне.

ЛИТЕРАТУРА

Авдейко Г.П., О.Н.Волынец, А.Ю.Антонов и др., 1992, Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги// ред. Ю.М.Пушаровский. М.:Наука, 528 с.

Авдейко Г.П., 2012, Типы вулканизма современных зон субдукции: геодинамические условия образования, геохимические характеристики//Современные проблемы магматизма и метаморфизма. - СПб., 2012. - Т.1. - С. 18-21.

Авдейко Г.П., 1974, Палеотектонические условия образования вулканогенно-кремнистых формаций и их место в развитии островных дуг// Вулканогенно-кремнистые формации Камчатки. //Новосибирск, Наука, С.95-110.

А в е р ь я н о в а В.Н., 1968, Детальная характеристика сейсмических очагов Дальнего Востока. //М., «Наука».

Антонов А.Ю., 2009, Обзор представлений по главным геодинамическим направлениям современной геологической науки в контексте данных российского реферативного журнала за 2006-2007 гг. (часть вторая)//вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, № 1, вып.13, стр.187-197;

Балакина Л.М., 2011, О землетрясении 11 марта 2011 г у северо-восточного побережья Хонсю. //Физика Земли, №9, 91 – 102;

Балакина Л.М., 2002, Субдукция и механизмы очагов землетрясений. Спорные аспекты тектонических плит и возможные альтернативы. //ИФЗ РАН, 2002. стр. 120 -141).

Балакина Л.М., 2006, Сейсмическая катастрофа в Индийском океане 26.12.2004 – в ряду цунамигенных землетрясений в структурах островных дуг.//Физика Земли, № 5, стр. 25-46;

Балакина Л.М., 1987, Сейсмогенные движения в фокальных зонах на примере Курило-Камчатской дуги. Строение сейсмофокальных зон. М.,стр. 198 -209.

Б а л а к и н а Л.М., 1962, Общие закономерности в направлениях главных напряжений, действующих в очагах землетрясений Тихоокеанского сейсмического пояса. //Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 11.

Л.М.Балакина, 1992, Камчатское землетрясение 4.11.1952г и его место в сейсмогенных проявлениях Курило-Камчатской зоны. / Физика Земли, №6, с. 3 -19.

Белоусов В. И., Э. Н. Эрлих, 2010, Тепло Земли.//<https://sites.google.com/site/geobelousov/geotermia>;

Богданов, Н.А., Н. Л. Добрецов, 1987, Синхронность активных геологических процессов на континентах и океанах. Известия АН СССР, сер. геол., № 11, стр. 41-52;

Бетехтин А. Г., 1937, Шорджинский перидотитовый массив (в Закавказье) и генезис хромитового железняка вообще.// Сборник «Хромиты СССР», Т. 1, М., Издательств АН СССР;

В е н и н г - М е и н е ц Ф. А., 1957, Пластическое впаивание земной коры: происхождение геосинклиналией. // В сб. «Земная кора». М., ИЛ;

Влодавец В.И., 1966, Вулканическая деятельность на Земле в историческое время // Современный вулканизм. - М.- Т.1. - С. 7-17;

Гончаров М. А., В. Г. Галицкий, Н. С. Фролова, 2005, Введение в тектонофизику. Изд. МГУ, 511 стр.

Горшков Г. П. Якушова А.Ф., 1973, Общая геология, //изд. Зе, Москва, Издательство Московского университета,



Грачев А.Ф. и Мухамедиев Ш. А., 1995, Напряженное состояние и сейсмическая активность платформ в зависимости от удаления от срединно-океанических хребтов. //Физика Земли, № 7, стр. 14-19;

Добрецов Н.Л., 1997, Пермотриасовый магматизм в Евразии как отражение суперплюма // Докл. РАН. - 1997. - Т. 354. - № 2. - С. 220-223.

Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки (колл. авт.), 1980, //М.: Наука, 170 с.

Жирнов А.М., 2009, Мифы мобилизма и реальная тектоника. //Отечественная геология, № 2, стр. 87-94, www.evengusev.narod.ru/spb/zhirnov-2011.html

Захаров, В.С., А. И. Карпенко, С.П. Завьялов, 2013, Особенности сейсмических гвоздей в разной геодинамической обстановке. Вестник МГУ, Сер. 4, геология, стр. 11-18;

Земцов А. Н., Тронь А. А., 1985, Статистический анализ каталогов извержений вулканов мира. //ДАН СССР, № 9, Стр. 582-585;

Исследования очагов землетрясений. М., Наука, стр. 35-38;

Калинин В.А., Родкин М.В., Томашевская И.С., 1989, Геодинамические эффекты физико-химических превращений в твердой среде. // М., Мир, 158 стр.;

Киссин Н. Г., 1996, Флюидонасыщенность земной коры, электропроводность, сейсмичность. //Физика Земли, № 11, №4, с. 30-40;

Короновский Н. В., 1997, Гидротермальные образования в океанах //Соросовский образовательный журнал. № 10, с. 55-62.

Кузин И.П., 1974, Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки. М: Наука, 123 с

Кузнецов В.В., 2001, Ударно-волновая модель очага землетрясения. Науки о Земле: Современные проблемы сейсмологии. //М.: Вузовская книга, С. 47-62

Кузнецов В. В., 2000, Физика изначально горячей Земли. // Новосибирск, Наука, 365 стр.

Курскеев А.К., 2011, Физические основы формирования кратковременных вариаций вимпульсном электромагнитном поле //Известия НАН РК. Серия геол., Алматы, № 6., С.20-35;

Курскеев А.К., Абаканов Т. Д., 2012, Серазетдинова Б. З. Землетрясения: Происхождение и прогнозирование. – Алматы: Эверо, 314 стр.

Курскеев А. К., Жданович А. Р., 2010, Современные структурно-вещественные преобразования в литосфере как основа формирования очагов землетрясений //Изв. НАН РК., Сер. геол. 2010. № 5, С. 59-69;

Леонов В.Л., 1981, Разрывные нарушения Паужетской вулcano-тектонической структуры // Вулканология и сейсмология, № 1. С. 24-36.

Литовченко И.Н., 2015, О типах очагов землетрясений, их модели и формирование technic.itizdat.ru/preview.php?MODE...1...

Маракушев, А.А., И.А. Тарарин, 1964, О глубинности формирования гранитоидов. В кн.: XXII сессия МГК. Петрографические формации и проблемы петрогенезиса. Доклады советских геологов, Москва, Наука.

Марков М. С., 1975, Метаморфические комплексы и базальтовый слой земной коры островных дуг севера Тихого океана. Труды ГИН АН СССР, вып. 268, М., Наука, 232 стр.

Раутиан Т. Г., 1991, Сейсмоактивность и очаги землетрясений. Модельные и натурные исследования очагов землетрясений. // М., Наука, стр. 82-91;

Маракушев, А.А., И.А. Тарарин, 1964, О глубинности формирования гранитоидов. //В кн.: XXII сессия МГК. Петрографические формации и проблемы петрогенезиса. Доклады советских геологов, Москва, Наука.

Мартьянов Н.Е. 1968, Энергия Земли //Западно-Сибирское книжное издательство. Новосибирск, 85с. ;

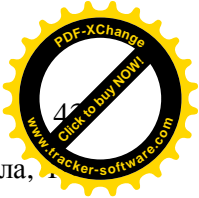
Н.Е.Мартьянов. Размышления о пульсациях Земли. Красноярск: КНИИГиМС, 2003. 272с.

Милановский Е.Е., Мальков Б.А., 1980, Кимберлитовый вулканизм и глобальная пульсация Земли //Докл. АН СССР, № 5, с. 1205-1207.

Михалев Ю. М., 2005, Кризис новой глобальной тектоники. // Отечественная геология, № 2, стр. 81-82;

Набоко С. И., ред., 1974, Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. Москва, Наука, 170 стр.;

Нехорошев В.П., ред., 1973, //Геологический словарь, М., Недрa, т.1;



Осика Д. Г., В.И. Черкашин, 2004, Флюидодинамика и сейсмичность.// Махачкала, ДНЦ, 176 стр.;

Павленкова Н. И., 2006, Структура верхней мантии Сибирской платформы по данным, полученным на сверхдлинных сейсмических профилях.//Геология и геофизика №5, стр. 630-645;
Павленкова Н.И., 1989, Структура земной коры и верхней мантии и тектоника плит.

// Геодинамические исследования, №13, с 36 – 45

Панфилов В. С., 1994, Гидрогеотермальные явления в генезисе сейсмичности. //Физика Земли, № 2, с. 79-87;

Пуарье Ж.-П., 1988, Ползучесть кристаллов. Механизмы деформации металлов, керамики и минералов при высоких температурах. //М., Мир, 288 стр.

Пушаровский Ю. М., Д.Ю. Пушаровский, 2006, Новая генерация тектоно-геодинамических моделей Земли: обзор проблемы.// Геотектоника, т. 40, № 3, 163-168;

Раутиан Т. Г., 1991, Сейсмоактивность и очаги землетрясений. Модельные и натурные исследования очагов землетрясений. М., Наука, стр. 35-48;

Родкин М.В., 2004, Изменения характера сейсмичности с глубиной: новые эмпирические соотношения и их интерпретация// Физика Земли, №10, стр. 42-53;

Родкин М. В.,2001, Проблема физики очага землетрясения: противоречия и модели.// Физика Земли, № 8, стр. 42-52;

Родкин М.В.,1993, Природа глубинных коровых сдвиговых зон// Физика Земли, №11, стр. 79-85

Родкин М.В., 1993, Роль глубинного флюидного режима в геодинамике и сейсотектонике.//М., 195 стр.

Рогожин Е.А., 2011, Землетрясение Тохоку 11.03.2011 (M=9.0) в Японии: тектоническая позиция очага, микросейсмичность, сейсмологические и геодинамические проявления.// Геотектоника, 2011, №5, 3-16

Рубинштейн М. М., 1967,Орогенические фазы и периоды складчатости в свете данных абсолютной геохронологии.//Геотектоника, №2, стр. 35-40;

С а й к с Л., 1970, Сейсмичность и глубинное строение островных дуг.//В кн. «Окраины континентов и островные дуги». М., Мир;

Святловский А. Е., 1975, Региональная вулканология.//изд. Недра, Москва, 232 стр.

Спорные аспекты тектонических плит и возможные альтернативы., 2002, сборник статей// М., Наука, ИФЗ РАН,

Т а р а к а н о в Р. З., Н.В. Л е в ы й , 1967, Новая модель слоистого строения верхней мантии Курило-Японского региона зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану по сейсмологическим данным. //Докл. АН СССР, т. 173, № 3;

Тевелев А. В.,2003, Сдвиговая тектоника. //Издание МГУ;

Токарев П.И., С.А. Федотов, А.А. Годзиковская, Зобин В.М., 1970, Землетрясения Камчатки и Командорских островов в 1967 г. //В сб. «Землетрясения в СССР в 1967 г.». Наука;

Т о к а р е в П. И., С. А. Ф е д о т о в , В. М. З о б и н , А. М. К о н д р а т е н к о 1970а, Землетрясения Камчатки и Командорских островов в 1969 г.//В сб. «Землетрясения в СССР в 1969 г.». М., Наука;

Т о к а р е в П.И., Ф е д о т о в С.А., Б а г д а с а р о в а А.М., Б о б к о в М.Ф., 1968, Землетрясения Камчатки и Командорских островов по данным детальных сейсмологических наблюдений в 1965 г. В сб. «Землетрясения в СССР в 1965 г., Наука;

Т о к а р е в П.И.,1970, О фокальном слое, сейсмичности и вулканизме Курило-Камчатской зоны.//Физика Земли, № 3, стр. 15-30;

Т о к а р е в П.И., 1959, О глубинной фокальной поверхности и связи землетрясений с рельефом в Курило-Камчатской зоне.//Бюлл. Вулканологической станции, № 27.

Урзел Дж., 1970, Строение окраин континентов и развитие океанических желобов.//В кн.: Окраины континентов и островные дуги.//М.: Мир.

Ф е д о т о в С.А., П. И. Т о к а р е в , А. А. Г о д з и к о в с к а я , В. М. З о б и н , 1970, Землетрясения Камчатки и Командорских островов по данным детальных сейсмологических наблюдений в 1968 г.//В сб. «Землетрясения в СССР в 1968 г.». Наука;

Ф е д о т о в С. А., Т о к а р е в П. И., Б о б к о в М. Ф., К у з и н И. П., 1967, Землетрясения Камчатки и Командорских островов по данным детальных сейсмологических наблюдений в 1964 г.//Сб. «Землетрясения в СССР в 1964 г.» Наука;



- Фисунов, 2009, Знания древних.// Jhoots, глава 7.1.Субдукция или как океанические пл. оказываются под континентальными.
- Фролов В.Т., 2004, Наука геология: философский анализ.//Издательство МГУ, Москва, 128 стр.
- Хаин В.Е., М.Г Ломизе, 1995, Геотектоника с основами геодинамики.//Учебник для студентов геологических специальностей вузов.//М: Изд-во МГУ, 480 с.;
- Шейнманн Ю. М., 1966, Очерки глубинной геологии. //М. Недра.
- Широков В. А., 2008, Влияние общепланетарных космических факторов на возникновение сильных вулканических извержений Земли и проблема их долгосрочного прогноза.
[//http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2008/art36.pdf](http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2008/art36.pdf)
- Штейнберг Г.С., 1966, Строение земной коры южной части Камчатки и структурно-тектоническая позиция четвертичных вулканов// ДАН, Т. 166. N 2.С.440-443;
- Эрлих Э. Н., 2016, Геодинамика и магматизм платформ.
[//https://sites.google.com/site/vulkaniceskaageologia/home/ocerki-ostrovnyh-dug](https://sites.google.com/site/vulkaniceskaageologia/home/ocerki-ostrovnyh-dug)
- Эрлих Э. Н., 2012, Очерки геологии и геодинамики островных дуг.
<https://sites.google.com/site/vulkaniceskaageologia/home/ocerki-ostrovnyh-dug>
- Эрлих Э. Н., 2009, Генетическая модель образования кальдеры Узон.
[//http://sites.google.com/site/geyzeruzon/kaldera-uzona/geneticheskaya-model](http://sites.google.com/site/geyzeruzon/kaldera-uzona/geneticheskaya-model)
- Эрлих Э. Н., 2009а, Кислый вулканизм, рост гранитного слоя коры, гидротермальный процесс, и рудообразование.
<https://sites.google.com/site/erlihvardtrudy/home/kislyj-vulkanizm-rost-granitnogo-sloa-zemli-gidrotermalnyj-process-i-rudobrazovanie>
- Эрлих Э. Н., 2016, Геодинамика и магматизм платформ.
<https://sites.google.com/site/erlihvardtrudy/>
- Эрлих Э. Н., 2012, Очерки геологии и геодинамики островных дуг.
<https://sites.google.com/site/vulkaniceskaageologia/home/ocerki-ostrovnyh-dug>
- Эрлих Э. Н., 2009, Кислый вулканизм, рост гранитного слоя коры, гидротермальный процесс и рудообразование.
<https://sites.google.com/site/erlihvardtrudy/home/kislyj-vulkanizm-rost-granitnogo-sloa-zemli-gidrotermalnyj-process-i-rudobrazovanie>
- Эрлих Э.Н., 1973, Современная структура и четвертичный вулканизм западной части Тихоокеанского кольца, //Новосибирск, Наука, 244 стр.
- Abe K., 1982, Magnitude, seismic moment and apparent stress for major deep earthquakes.//Phys. Earth. v. 30, #4, pp. 321-330;
- Avdeiko G. P., 1971, Evolution of geosynclines in Kamchatka.//Pacific Geology, v. 3, p. 1-14;
- Bailey D.K., 1982, Mantle metasomatism – continuing chemical change within the Earth.//Nature 296 525-530;
- Belousov V.I., Belousova I.V., 2016, Heat transfer in hydrothermal-magmatic systems.//PROCEEDINGS, 41st Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 22-24, 2016 SGP-TR-209
- Blanpied M.L., D.A. Lockner, J.D. Byerly, 1992, An earthquake mechanism based of rapid sealing of faults.//Nature. v. 358, P. 574-576;
- Cloos M. 1993, Lithospheric buoyancy and collisional orogenesis: subduction of oceanic plateaus, continental margins, island arcs. Spreading ridges, seamounts.//Geol. Soc. America Bull. 105, 715-737;
- DeSilva Sh. L., W.D. Gosnold, 2007, Episodic construction of batholiths: Insights from spatiotemporal development of ignimbrite. Journal of volcanology and Geothermal Research, v. 167, p. 320-335;
- Erlich E. I., Hausel W. Dan, 2002, Diamond deposits. *Origin, exploration and History of discovery*,// SMI, Littleton, CO, 374 p.
- Erlich E. N. and G. S. Gorshkov, eds., 1979, Quaternary volcanism and tectonics in Kamchatka.//Bulletin Volcanologique, vol. 42, issues 1-4, 298 p.;
- Facts about the New Madrid seismic zone.//<http://dnr.mo.gov/geology/geosrv/geores/techbulletin1.htm>
- Grachev A.F., 1982, Intraplate geodynamics and seismicity.//Earthquake Prediction Research, v.1, p. 87-106;



Hodgson, C.J., 1962, The geology and geological development of the Broken Hill lode, in New Broken Hill Consolidated mine, Australia: Part II. Mineralogy://Geological Society Australia Journal, v. 22, p. 33–50.

Lander A. V., and M. N. Shapiro, 2009, The origin of the Modern Kamchatka Subduction zone.//In: Eichelberger J., E. Gordeev, M. Kasahara, P. Izbekov, and J. Lees, 2009, Volcanism and subduction, The Kamchatka region. Geophysical Monograph 172, AGU, Washington, D. C., p. 57-65.

Lee C.K., Kerr S. D., 1984, Midcontinent rift, a frontier oil province.//Oil and Gas Journal Aug. 13, pp. 144-150;

Milankovich M., 1941, Kanon der Erdbeustrahlung und seine Anwendung auf des Enzein problem. Acad. Roy. Serbe, Ed. Sp. t. CXXXI, sec. De Sci. Math. et Nat. (in German)634 p.

Moody J. D., M. J. Hill, 1956, Wrench fault tectonics.//Geol. Soc. America Bull. 64, 1207-1246.

Miyashiro A., 1967, Aspects of metamorphism in the Circum-Pacific region. Tectonophysics, 4, 4-6.

Reid, H.F.,1910, The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906, Report of the State Investigation Commission, Vol.2, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C. (see especially pages 16-28);

Ringwood A. E., 1975, Composition and Petrology of the Earth's Mantle. London, New York, and Sydney (McGraw-Hill), xviii+618 pp., I

Sato M., Sutton A.J., McGee K.A., Russell-Robinson S., 19 , Monitoring of hydrogen along the San Andreas and Calaveras Faults in central California in 1980–1984. J. Geophys. 91, 12,315–12,326.

Saunders A. D., M. Storey, R. W. Kent, M. J. Norry, 1992, Consequences of plume-lithosphere interactions.// In: Storey B. C.,T. Alabaster, R. J. Punkhurst (eds.) Magmatism and the Causes of Continental Break-up.// Geol. Soc. London spec. Publ. 68, 41-60;

Sheth, H. C., 1999, Flood basalts and large igneous provinces from deep mantle plumes: fact, fiction, and fallacy.//Tectonophysics, v. 311, No. 1-4, pp. 1-29.

Sheth H. C., I.S. Torres-Alvarado, S.P. Verma, 2000, Beyond subduction and plumes: unified tectonic-petrogenetic model for the Mexican volcanic belt.// International Geol. Review, t. 42, # 12, pp. 1116-1132;

Smith, E. R., 1999, Affective and cognitive implications of group membership becoming part of the self: New models of prejudice and of the self- concept. //In D. Abrams & M. Hogg (Eds.), Social identity and social cognition (pp. 183-196). Oxford: Blackwell Publishers.

Sykes L. A., 1978, Intraplate seismicity, reactivation of preexisting faults of weakness, alkaline magmatism and other tectonism postdating continental fragmentation.//J. Geoph. Res. V. 16, pp. 621-687;

Wellman H.W., 1944, Geology of New Zealand.//New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 45:232 p. [From Wikipedia, the free encyclopedia](#);

Wenou Zhang, Fuchen Ma, Jiazeng Shen, 1985, A note on the mechanism of subduction. //Tectonophysics, 112, p. 129-136;

White R. and Dan MCKenzie, 1989, Magmatism at Rift Zones: The Generation of Volcanic Continental Margins and Flood Basalts. //Journal of Geophysical Research, vol. 94, no. B6, Pages 7685-7729, June 10, 1989;

www.mountainadventure.ru

Zobin V. M., 1979, Focal Mechanism of Shallow and Intermediate Earthquakes in Kamchatka-Commandor region, and Heterogeneity of the Active Seismic Zone.//In: Erlich and Gorshkov, eds., 1979., p. 43-48.