

Ильяш В.В. «Геоактивные зоны»

Лекция 5

1. Трансформные разломы и их типы, характер динамики

Как показала детальная батиметрическая и геофизическая съемка, дно океанов изоборуждено глубокими трещинами, протягивающимися зачастую на многие сотни километров. Одни из них имеют прямолинейные очертания и распространены в центральных частях Атлантического и Индийского океанов, другие проявляются в восточной половине Тихого океана. Эти трещины принадлежат к особому классу разломов, называемых трансформными,— очень специфическому типу образований, не имеющему аналогов на континентах. Срединно-океанские хребты и в меньшей степени абиссальные равнины расчленены, как правило, перпендикулярно к их простиранию этими разломами, получившими в 1965 г. от Дж. Вилсона название трансформных. С геологической точки зрения трансформные разломы определяются как полусдвиги. Тектонические смещения происходят не обязательно по всей их длине, иногда лишь на отдельных отрезках, пересекающих срединно-океанические хребты. Другая особенность, давшая им название, заключается в том, что они соединяют или разъединяют самые разнородные структуры в океане и в переходной к нему от континентов зоне. Примером может служить знаменитый разлом Сан-Андреас на континентальной окраине Калифорнии, через который увязываются в единую систему северная ветвь Восточно-Тихоокеанского поднятия и срединные хребты Горда и Хуан-де-Фука, некогда входившие в его состав. Это правосторонний сдвиг, играющий роль скользящего края двух плит — Тихоокеанской и Северо-Американской.



Рис.1 Модель СОХ и трансформных разломов

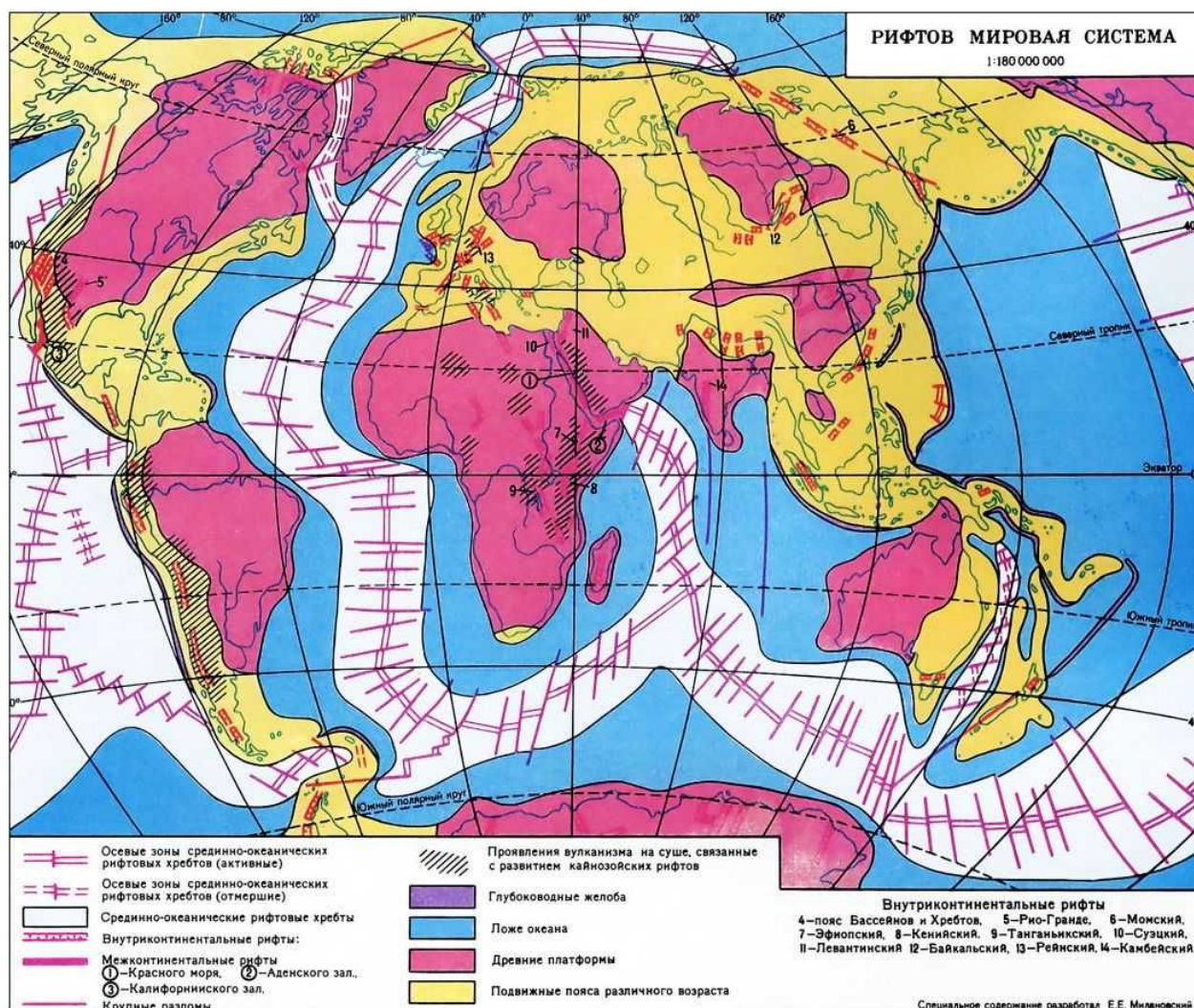
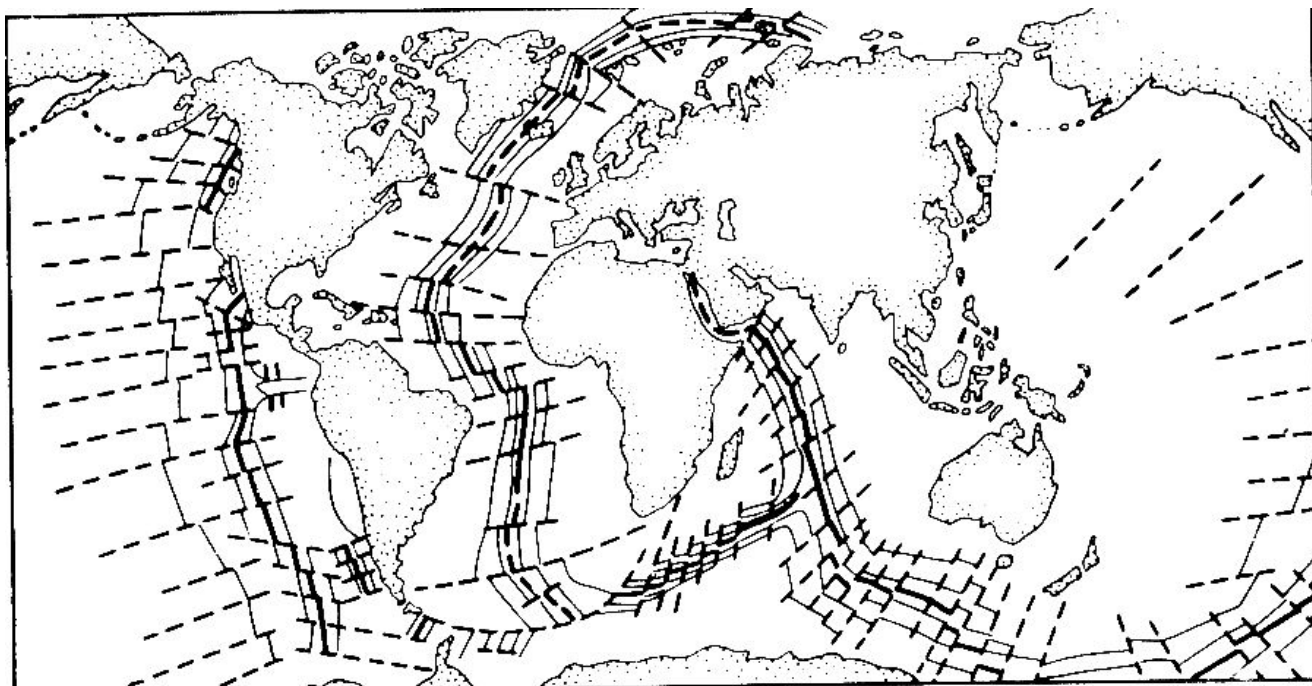


Рис.2 Мировая система трансформных разломов

Эти разломы расчленяют срединные хребты и оси спрединга на отдельные сегменты, смещенные в плане относительно друг друга. Амплитуда смещения составляет сотни километров и может превышать для отдельного разлома 1000 км (разлом Мендосино в северо-восточной части Тихого океана), а по зоне сближенных разломов типа экваториальной зоны разломов в Атлантике или зоне Элтанин в юго-восточной части Тихого океана достигает 4000 км. При отсутствии поблизости осей спрединга, как в северо-восточной части Тихого океана, амплитуда разлома устанавливается по смещению одноименных магнитных аномалий.

На первый взгляд, трансформные разломы представляют собой сдвиги, но, как показал Вилсон, они принципиально отличаются от сдвигов тем, что противоположно направленное смещение их крыльев наблюдается лишь на участке, соединяющем оси спрединга. За его пределами оба крыла движутся в одну сторону, хотя скорость этого движения может несколько отличаться. Эта особенность трансформных разломов очень скоро была подтверждена сейсмологами, обнаружившими, что землетрясения происходят вдоль этих разломов только на участках между осями спрединга. Позднее прямые наблюдения с подводных обитаемых аппаратов над зеркалами скольжения принесли дополнительное подтверждение теории Вилсона. За пределами сейсмически активных участков трансформные разломы являются как бы мертвыми и представляют лишь следы бывших смещений, зафиксированные в древней коре.

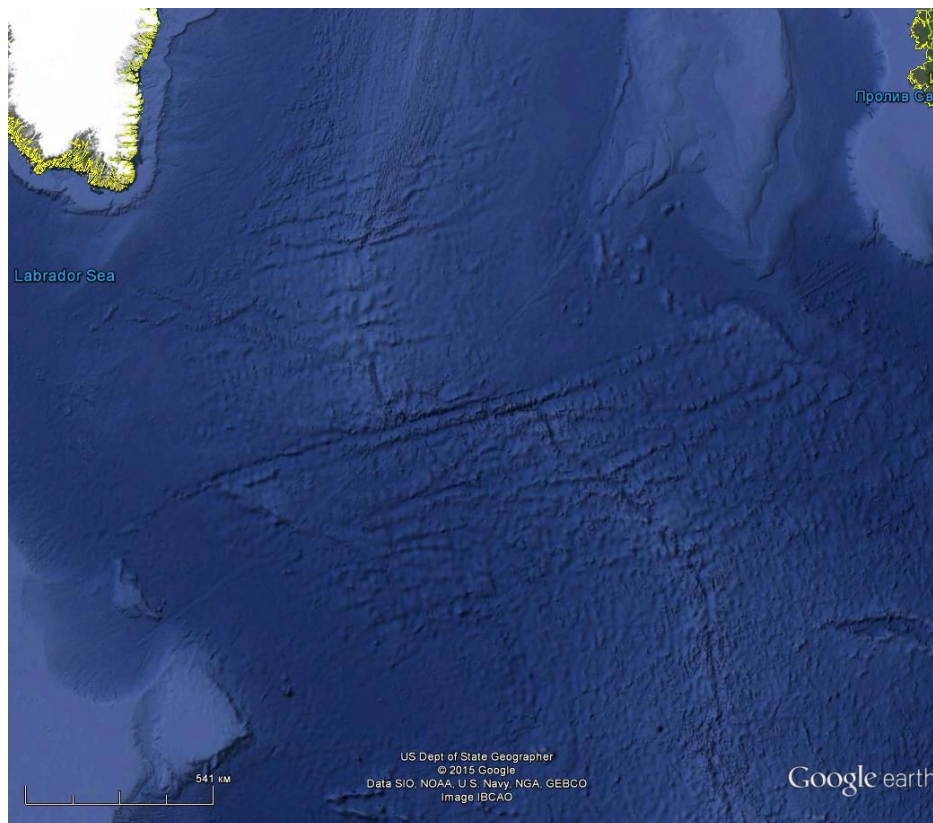


Рис.3 Трансформные разломы в Северной Атлантике

Морфологически трансформные разломы выражены уступами, иногда высотой более 1 км, и вытянутыми вдоль них узкими ущельями глубиной до 1,5 км в гребневой зоне хребта и до 0,5 км на его флангах. Относительно поднятым всегда оказывается крыло разлома, сложенное более молодой литосферой, что соответствует закономерности Слейтера — Сорохтина о погружении литосферы с возрастом. Уступы трансформных разломов нередко дают хорошие обнажения разрезов океанской коры и верхов мантии, удобные для драгирования и наблюдений с подводных аппаратов.

Вдоль трансформных разломов наблюдаются проявления вулканической деятельности, гидротермы и протрузии серпентинизированных пород мантии.

Трансформные разломы значительно различаются по своему масштабу. Прежде всего, выделяется категория крупнейших разломов. В.Е. Хаин предложил именовать их магистральными, а Ю.М. Пушаровский — трансокеанскими, они пересекают океан от края до края, не только срединные хребты, но и абиссальные равнины, и могут продолжаться в пределы смежных материков. Протяженность подобных разломов нередко составляет несколько тысяч километров, например разломов-гигантов северо-восточной части Тихого океана — Мендосино, Меррей, Клариян, Клиппертон, а расстояние между ними — порядка тысячи километров

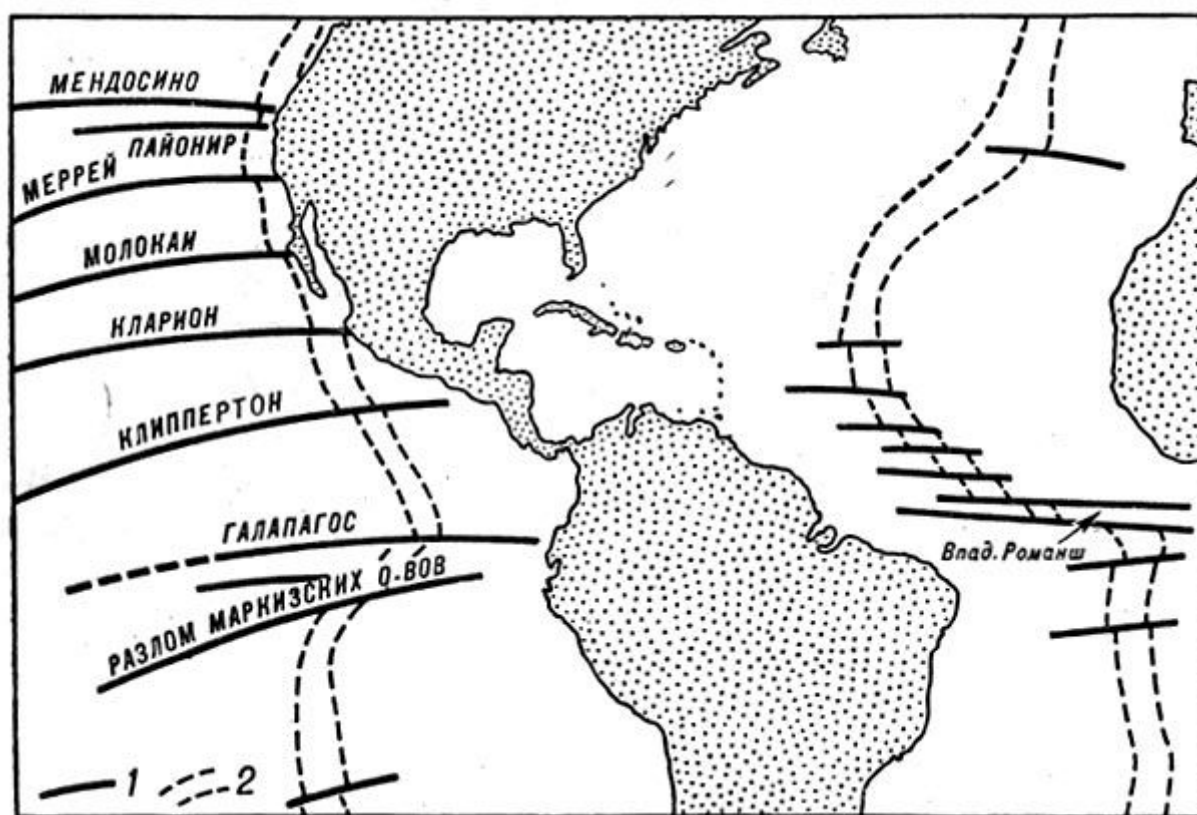


Рис.4. Схема крупнейших трансформных разломов

разлома на другой, например, вдоль разлома Элтанин в Тихом океане. В этих случаях породы более глубоких слоев океанской коры и даже верхней мантии могут оказаться залегающими гипсометрически выше пород верхних слоев коры, например перидотиты и габбро выше базальтов.

Хороший пример смены растяжения сжатием по простиранию одного и того же разлома дает Азоро-Гибралтарский разлом. На западе, близ срединного хребта и в районе Азорского архипелага преобладает растяжение; оно даже привело к некоторому спредингу и образованию микроплиты, получившей название Азорской. На востоке же картина обратная: вместо растяжения сжатие, проявленное в образовании банки Горриндж против побережья Португалии, с надвиганием южного крыла разлома на северное. Таким образом, на западе наблюдается сдвиг-раздвиг, или транстенсия (transtension), а на востоке — сдвиг-надвиг, или транспрессия (transpression) по выражению английских геологов. Эти изменения, несомненно, связаны с изменениями в расположении полюсов вращения литосферных плит.

Детальные исследования зон разломов Центральной Атлантики, проведенные в последние годы нашими (под руководством Ю.М. Пущаровского) и западными экспедициями, показали, что действительная структура этих зон еще более сложна, чем это предполагалось ранее. Выяснилось, в частности, что эти зоны фактически состоят из нескольких квазипараллельных, нередко кулисообразно подставляющих друг друга разломов и гряд между этими разломами, несколько отличающихся по простиранию, и что растяжение и сжатие сменяют одно другое не только вдоль зоны, но и поперек ее простиранья.

Кроме магистральных разломов существует еще по крайней мере три порядка трансформных разломов меньшего масштаба. Наиболее крупные из них пересекают срединные хребты примерно через 100 — 200 км и продолжаются на некоторое расстояние в пределы абиссальных равнин. разломы следующей по значению категории не выходят за пределы срединных хребтов и отстоят друг от друга на десятки километров. Наконец, более мелкие разломы пересекают лишь гребневые зоны и рифтовые долины. Недавно установлено любопытное явление прорастания, или пропагации, оси спрединга по простиранию, за ограничивавший ее трансформный разлом. Это приводит к появлению в соседнем сегменте новой оси спрединга рядом с прежней. В конце концов, старая ось спрединга может отмереть, произойдет перескок активной оси спрединга в новое положение.

Как само образование трансформных разломов служит цели приспособления положения оси спрединга к ее изгибу под влиянием изменившегося направления смещения литосферных плит, так и перескоки и прорастание осей спрединга также связаны с перестройками в относительных вращающихся перемещениях этих плит.

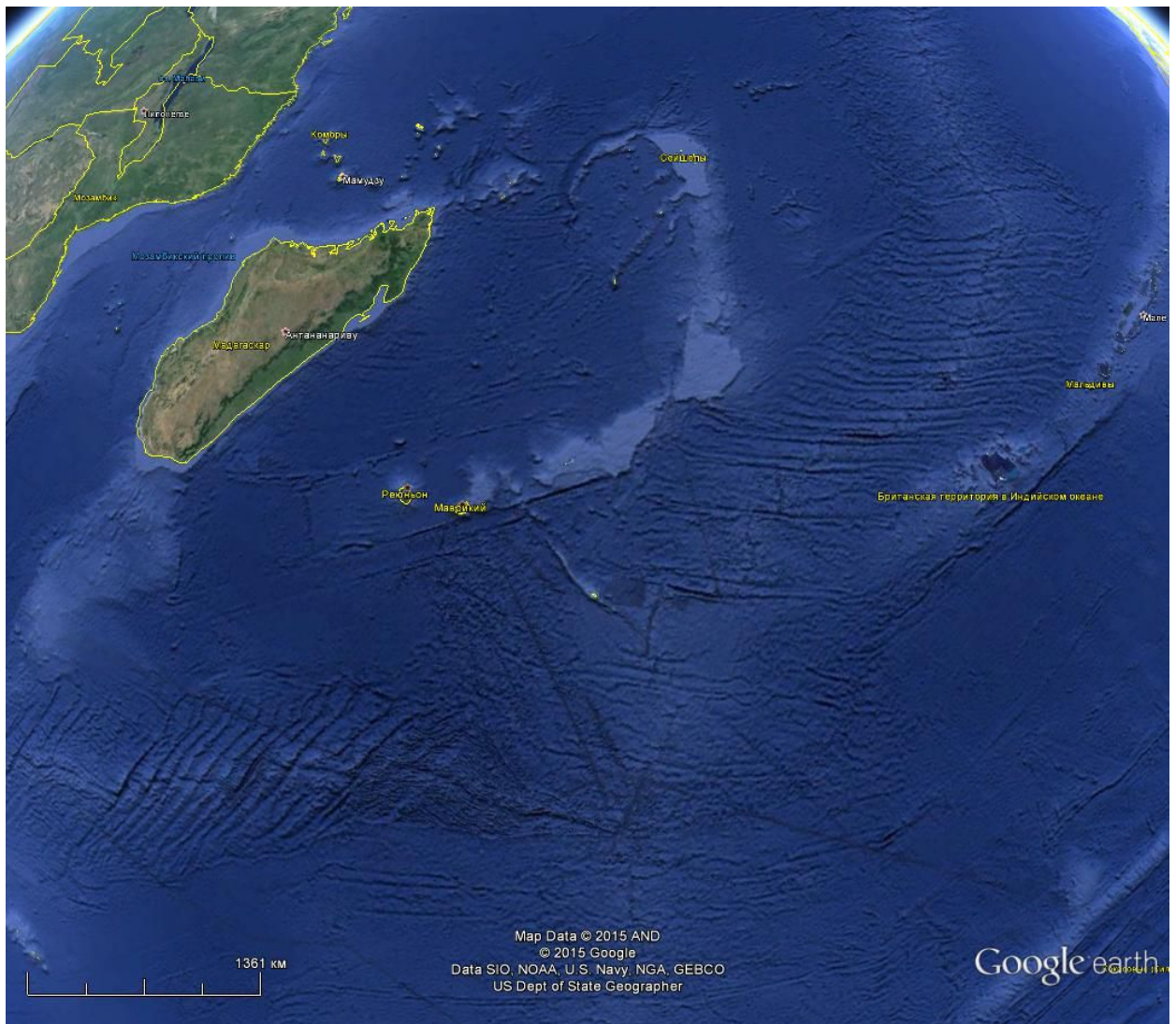
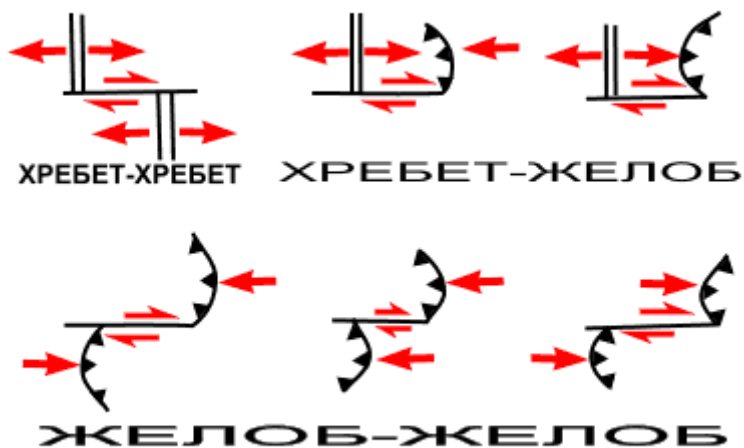


Рис. 6. Разломные структуры океанического дна на юге Индийского океана

В последние годы обнаружено, что на отдельных довольно протяженных (до 300 км) отрезках Восточно-Тихоокеанского поднятия и Срединно-Атлантического хребта хорошо выраженные трансформные разломы отсутствуют, а сегментация хребта осуществляется таким образом, что ось спрединга распадается на отдельные небольшие, несколько криволинейные отрезки, кулисообразно заходящие друг на друга.

ТИПЫ ТРАНСФОРМНЫХ РАЗЛОМОВ



ТИПЫ ТРОЙНЫХ СОЧЛЕНЕНИЙ

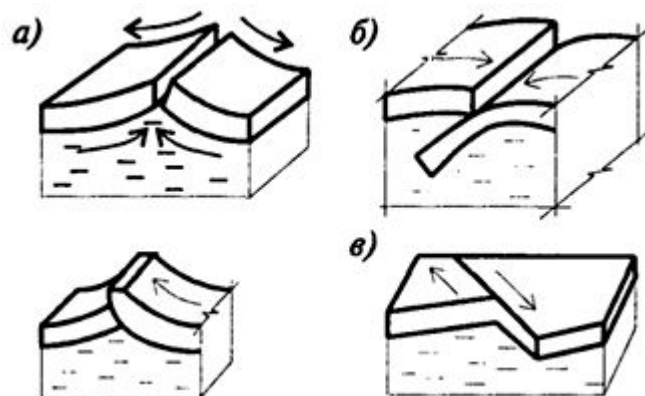
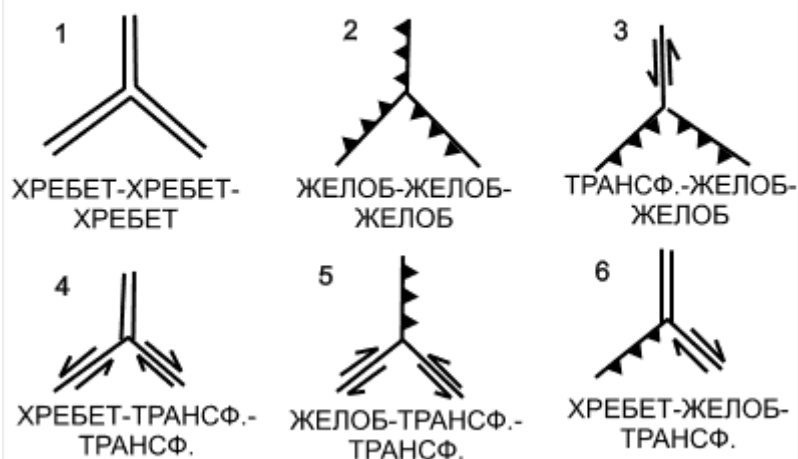


Рис.7 Типы движений по трансформам

San Andreas Fault Observatory at Depth (SAFOD)

The central scientific objective of SAFOD is to directly measure the physical and chemical processes that control deformation and earthquake generation within an active plate-bounding fault zone.

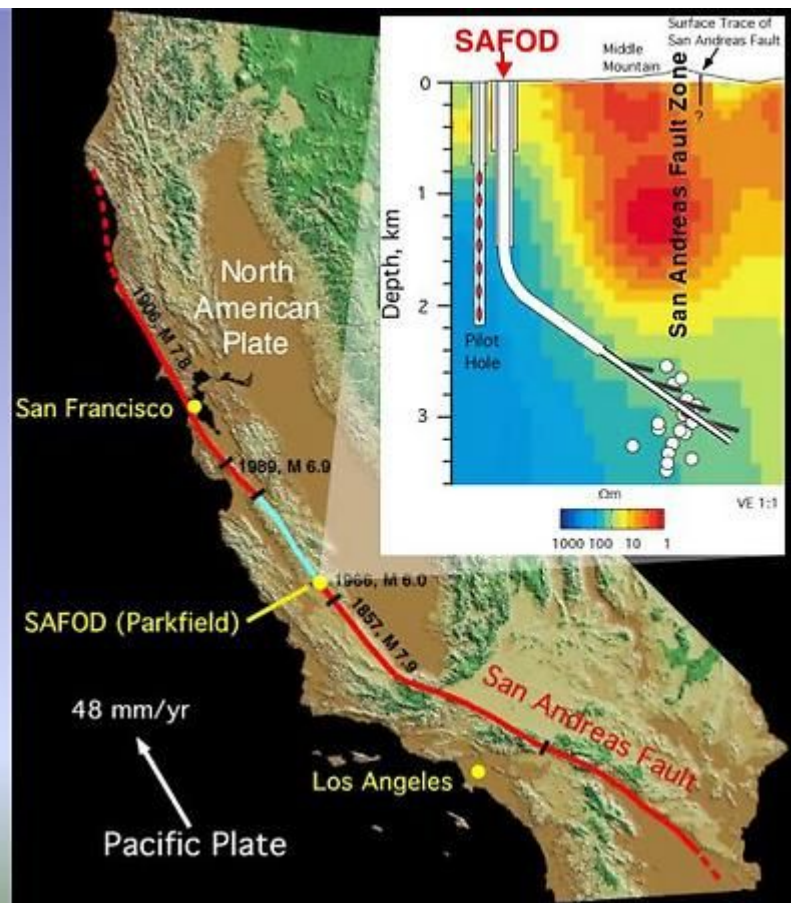


Рис.8. Придорожный указатель разлома Сан-Андреас

2. Экологическая роль трансформных разломов

Об этом лучше всего известно на примере разлома Сан-Андреас, коорый приобрел печальную известность: из-за того, что с ним связаны наиболее разрушительные; землетрясения на Восточном побережье США. Достаточно вспомнить землетрясение 1906 г., приведшее к разрушению значительной части города Сан-Франциско. И в настоящее время десятки сейсмографов чутко следят за дыханием недр в районе этого разлома, так как, согласно статистике, разрушительные землетрясения происходят здесь с интервалом в несколько десятков лет и спокойный период должен вот-вот подойти к концу.

Землетрясениями сопровождаются мощные сдвиговые дислокации, в результате которых один из участков древней, плейстоценовой дельты реки Колорадо переместился за последние 150—200 тыс. лет примерно на 120 км севернее своего исходного положения. Сместились и многие другие участки на окраине Калифорнии. Поэтому составные части некогда единых геологических тел, например подводных конусов выноса рек, оказавшись по разные стороны от разлома, теперь разъехались на расстояния, превышающие 500 км.

Сан-Андреас — редкий пример того, как трансформный разлом определяет тектонический режим в краевой части континента. Сфера влияния трансформных разломов — океанское дно, где они расчленяют на отдельные отрезки срединно-океанические хребты, смещая их в латеральном направлении друг относительно друга на многие десятки километров. В этом смысле трансформные разломы — это застывшая в камне история раздвига океанского дна и дрейфа материков. Как правило, они унаследованы от гораздо более древних структур — ослабленных зон или древних глубинных разломов, с активизации которых и начался когда-то распад древних суперконтинентов.

Самые крупные смещения отрезков срединно-океанических хребтов, как выясняется, были запрограммированы еще на исходной стадии формирования молодого океана. С трансформными разломами связан механизм приспособления новых, нарождающихся форм в океане к старым, континентальным структурам. Так, для осуществления раздвига в экваториальных районах Атлантики потребовалась целая система мощных трансформных разломов, по которым срединный спрединговый хребет разорван на несколько мелких сегментов, не соприкасающихся один с другим и отстоящих на десятки и сотни километров один от другого.

Окончания трансформных разломов упираются в континенты. В современную эпоху эти древние их участки, как правило, неактивны. Однако там, где они подходят к окраине материка, на шельфе и прилегающей суше

часто обнаруживаются крупные поперечные прогибы или впадины, для которых характерен мощный осадочный чехол, в котором могут накапливаться углеводороды. Нередко трансформные разломы влияют на современную береговую линию, причудливо изгибая ее. На продолжении трансформных разломов находятся крупные заливы и бухты, например Сан-Хорхе на Атлантическом побережье Южной Америки. Впрочем, подобное выражение получают лишь наиболее крупные трансформные разломы очень древнего заложения. Там, где к континенту подходил такой разлом, на его окраине длительное время существовала ослабленная зона — область активного прогибания земной коры. Именно по этим зонам устремлялись к океану многие, в том числе и крупные, реки. В их дельтах на побережье оседало огромное количество взвешенного материала, а по прошествии миллионов лет формировались прогибы, заполненные осадками.

Таким образом, не только структура дна океана, но и во многом рельеф и даже речной сток с континентов определялись тектоническими движениями по трансформным разломам. В целом же активной тектонической жизнью живут лишь те отрезки трансформных разломов, которые разъединяют соседние участки срединно-океанических хребтов. Именно здесь многочисленные тектонические подвижки сопровождаются сейсмическими толчками, внедрением магматических расплавов, выходами гидротерм. Так, при обследовании трансформного разлома Атлантик французские специалисты, находившиеся на борту «Сиана», впервые обнаружили продукты подводной гидротермальной деятельности. Эти специфические натечные образования были сложены закисными в окисными соединениями металлов.

Даже когда срединно-океанический хребет упирается в континент как северная ветвь Восточно-Тихоокеанского поднятия, на прилегавших к нему участках абиссали еще долгое время сохраняются разломные зоны протяженностью в тысячи километров. По этим гигантским морщинам на ложе океана продолжают тектонические подвижки в основном сдвигового характера, благодаря которым обновляется рельеф и на дно трещин стряхиваются осадки, скопившиеся на бортах трещин. Особенно поражают размерами реликты древних трансформных разломов в восточной части Тихого океана: Меррей, Мендосино, Кларион, Клиппертон, Пайонир и др. Один из бортов у этих разломов зачастую вздернут на 100—200 м относительно другого.

Сложная тектоническая жизнь трансформных разломов в их влияние на эволюцию океанского дна еще до конца не выяснена. Остается, например, загадкой, почему активность в районе ряда разломов, в том числе и сейсмическая, сохраняется лишь по одну сторону от срединно-океанического хребта, тогда как другая его половина совершенно пассивна.

Трансформные разломы выполняют еще одну экологическую функцию в океане: зачастую они становятся тем коридором, по которому сообщаются глубинные водные массы, изолированные по обе стороны от срединно-океанического хребта. Так, в районе разлома Чарли-Гиббс происходит переток глубинных вод из Лабрадорского моря в северо-восточные районы Атлантического океана. Происходит движение вод и в обратном направлении.

В районе подводного ущелья Вим в Южно-Бразильской котловине Атлантики также протекают сложные гидрологические процессы. Вблизи дна осуществляется переток на север, к экватору, тяжелых и холодных антарктических вод (так называемое Антарктическое контурное течение), которые затем по трансформному разлому Рио-Гранде поворачивают на восток. Над ними же в противоположном направлении, т. е. на юг от экватора, двигаются менее тяжелые глубинные воды, имеющие арктический генезис. Граница раздела между ними находится на глубинах около 4000 м. Таким образом, циркуляция придонных океанских вод во многом связана с системами трансформных разломов.