

УДК 550.34

СЕЙСМОАКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ КАМЧАТКИ, ЯПОНИИ, ТАЙВАНЯ И НОВОЙ ЗЕЛАНДИИ: СРАВНЕНИЕ

В.Л.Леонов

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

Что определяет коровую сейсмичность Камчатки? Почему на Камчатке не происходят такие сильные и частые коровые землетрясения, как, например, в Японии? Почему за 40 лет детальных наблюдений на Камчатке на поверхности не образовалось ни одного разлома, который можно было бы явно связать с близповерхностными землетрясениями? На все эти вопросы в настоящее время нет однозначных ответов.

Одной из наиболее значимых для понимания геодинамики и сеймотектоники полуострова структур считается протяженная зона молодых разрывных нарушений, которая проходит вдоль Восточного хребта Камчатки и его северо-западных границ [1-5,10,12,17] (рис. 1). Еще в ранних работах эта зона разломов получила название - Передовой фас Восточного хребта [5,10]. Однако в

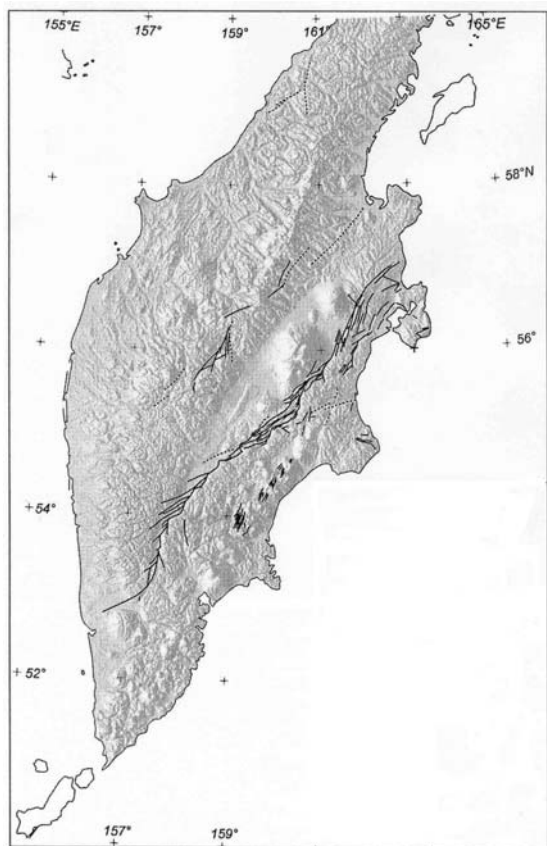


Рис. 1. Активные разломы Камчатки (по А.И.Кожурину [17]).

дальнейшем разные авторы давали ей и другие названия: Начикинско-Кумрочский сдвиг [6], передовой фас Центральной Камчатки [3], Камчатский разлом [2]. В ряде работ эту зону разломов сравнивают с такими крупными сдвигами, как Срединная линия Японии, Альпийский разлом Новой Зеландии и Филиппинский разлом на Суматре [3,10,12] (рис. 2). Исходя из протяженности отдельных разрывов, входящих в эту зону (25-30 км), определяется даже вероятная магнитуда

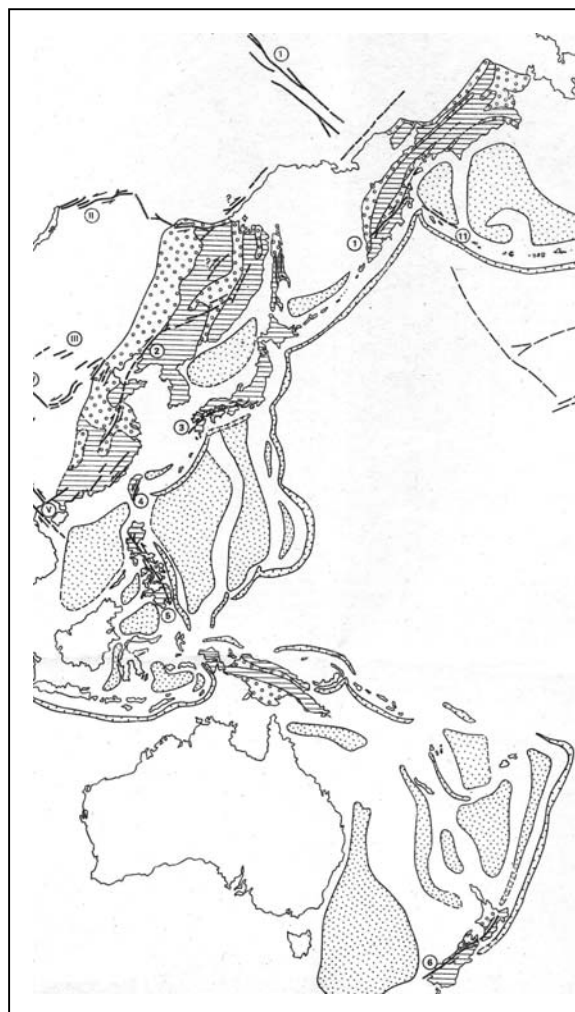


Рис. 2. Крупнейшие сейсмоактивные разломы западной части Тихоокеанского тектонического пояса, по [3]. 1 - передовой фас Центральной Камчатки; 2 - Танлу; 3 - Срединная линия Японии; 4 - Продольный разлом Тайваня; 5 - Филиппинский; 6 - Альпийский.

землетрясений, которые могут здесь произойти - 6.5-7 [4]. Однако насколько обоснованы такие предположения?

В одной из недавних работ было проанализировано расположение очагов коровых землетрясений на Камчатке и показано, что сейсмичность в земной коре здесь сосредоточена в нескольких сейсмоактивных зонах, выделенных по сгусткам эпицентров [1]. Некоторые из этих зон явно связываются с активными вулканами и расположены вблизи них. Это рои концентрации землетрясений в районе Ключевской группы вулканов, вблизи вулканов Карымского, Асача, Желтовского и других. В этих районах сейсмичность непосредственно связана с вулканической деятельностью. Некоторые сейсмоактивные области расположены вдали от вулканов - это проявившиеся еще в первые годы детальных сейсмологических наблюдений рои землетрясений на центральном участке Срединного хребта (Эссовские рои), на его южной оконечности (Ганальские рои), в районе Щапинских грабен и на севере Кроноцкого полуострова (Щапинские рои). В целом было показано, что сейсмичность концентрируется на отдельных обособленных участках, которые можно привязать к известным активным разломам лишь с большой натяжкой [1]. В связи с этим мы решили рассмотреть основные характеристики разломов, с которыми обычно сравнивают разлом Передового фаса Восточного хребта Камчатки, и оценить, правомерно ли такое сравнение.

Основные черты сейсмотектоники Тайваня

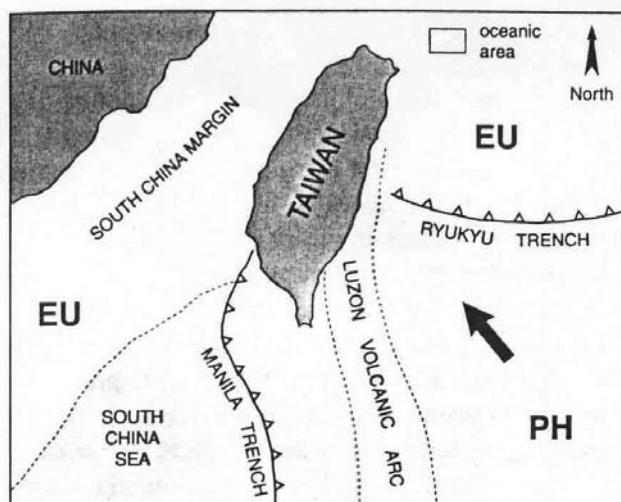


Рис. 3. Геодинамическая позиция Тайваня, по [18].

современный вулканизм, здесь нет вулканических поясов, подобных тем, что мы имеем на Камчатке или в Японии.

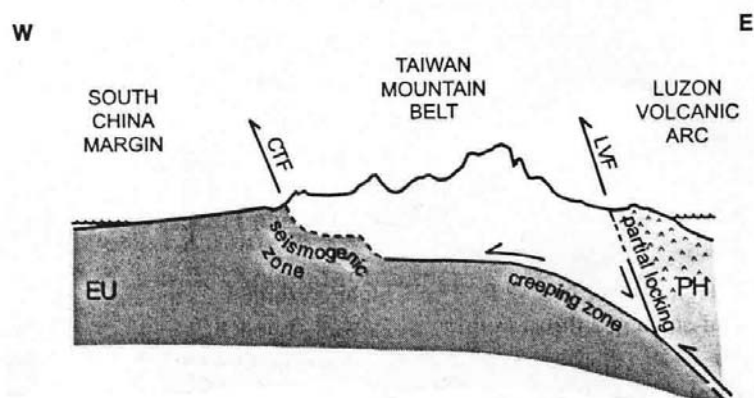


Рис. 4. Основные структуры, с которыми связана сейсмичность Тайваня, по [18]. Сплошные линии разломов - участки, где происходят криповые движения. Пунктирные линии - где происходят сейсмические события и разрывы при современных сильных землетрясениях.

Как можно видеть, геолого-структурная ситуация на Тайване значительно отличается от той, которую мы имеем на Камчатке, а продольные разломы Тайваня не могут сопоставляться с разломом Передового фаса Восточного хребта Камчатки, так как и их кинематика и их позиция существенно отличаются.

Общая геодинамическая позиция острова Тайвань и разрез, показывающий позицию основной сейсмогенной зоны (надвига Шелунгпу), показаны на рис. 3, 4, по [18,19,25]. Разломы, с которыми связана сейсмичность острова, представляют собой, в основном, надвиги и взбросы. В целом структурная ситуация на Тайване рассматривается как особый случай, в котором преобладают горообразовательные процессы, вздымание территории [19]. Это сопровождается частыми и сильными землетрясениями - следствием столкновения двух плит, надвигания Филлипинской плиты

на Евразийскую. Необходимо также отметить, что на Тайване практически отсутствует

Альпийский разлом Новой Зеландии

В Новой Зеландии основные землетрясения связаны с Альпийским разломом, который расположен на Южном острове (рис. 5, 6). Разлом расположен вдали от вулканических районов, которые приурочены к Северному острову. Альпийский разлом на Северный остров не прослеживается - он разворачивается и уходит в океан.

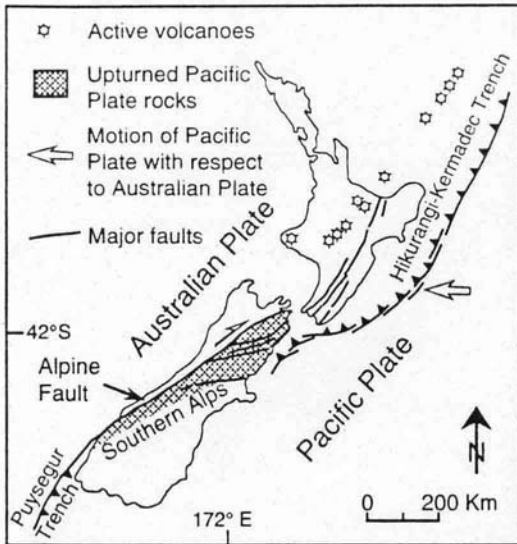


Рис. 5. Границы плит в районе Новой Зеландии и позиция Альпийского разлома, по [15].

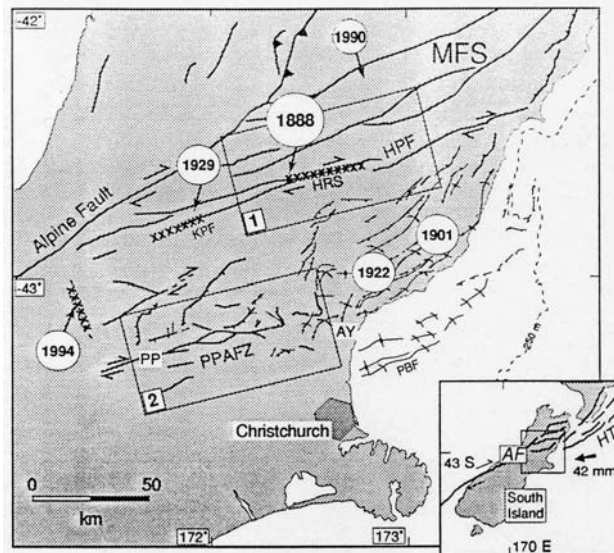


Рис. 6. Основные разломы и места исторических землетрясений Северной части Южного острова Новой Зеландии, по [16].

Представляется важным отметить, что относительно частые и сильные землетрясения ($M = 6.5-7.3$), которые происходят при подвижках по Альпийскому разлому (подвижки имеют в основном характер правого сдвига), связаны с районом, где не проявлен вулканизм - это существенно отличает данный район от Камчатки. На Северном острове Новой Зеландии, вдоль которого протягивается цепь вулканов и который этим во многом похож на Камчатку, землетрясения происходят значительно реже. Наиболее крупное землетрясение, произошедшее здесь - землетрясение Эдгекумбе, 1987 г., $M = 6.3$ (рис. 7). На поверхности

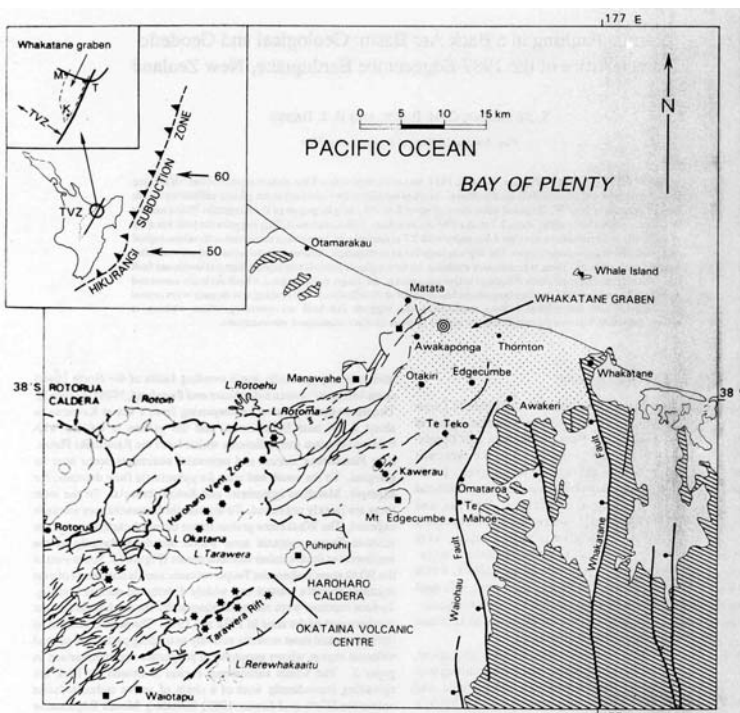


Рис. 7. Схема района, где 2 марта 1987 г. произошло землетрясение Эдгекумбе, по [13]. Заштрихованы области, где вскрываются песчаники, составляющие фундамент вулканического района. Звездочками показаны вулканические жерла в центре Окатаина, квадратами - андезитовые, андезито-дацитовые вулканы. Тонкие линии - разломы вулканической зоны Таупо (ТВЗ). Эпицентр землетрясения показан в центре схемы двойным кружочком. На врезке - позиция данного района относительно зоны субдукции (Хикуранги).

образовался сброс длиной 7 км, опущенное крыло сместилось вдоль разрыва на 1.7 м. Плоскость разрыва имела падение на СЗ под углом 40 градусов. Это землетрясение показало, что вулканические районы Северного острова находятся в обстановке растяжения, которую некоторые авторы рассматривают как задуговой спрединг [13].

При сравнении Новой Зеландии и Камчатки, очевидно, что такое сравнение возможно лишь с Северным островом, где расположена вулканическая зона Таупо. На Южном острове, где расположен Альпийский разлом, обстановка совсем иная, не имеет ничего общего с тем районом, где расположен разлом Передового фаса Восточного хребта Камчатки, и здесь сравнение неправомерно.

Срединная линия Японии

Еще один разлом, с которым иногда сопоставляют разлом Передового фаса Восточного хребта Камчатки, это так называемая Срединная тектоническая линия Японии - правый сдвиг, наиболее ярко выраженный на острове Сикоку и в южной части острова Хонсю (рис. 8).

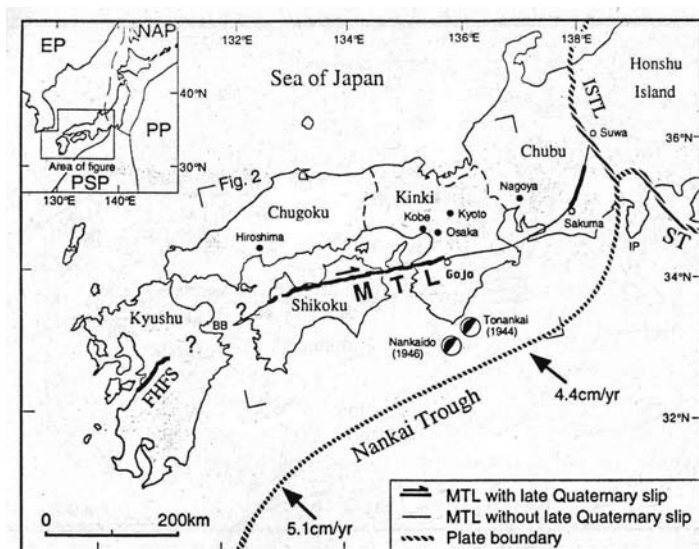


Рис. 8. Современная плейттектоническая ситуация на юго-западе Японии и положение Срединной тектонической линии (MTL), по [27]. Буквенные индексы на врезке: EP - Евразийская плита, NAP - Северо-Американская плита, PP - Тихоокеанская плита, PSP - плита Филиппинского моря; на схеме: BB - залив Беппу, FHFS - система разломов Футагава-Хинагу, IP - полуостров Идзу, ISTL - тектоническая линия Итоигавы-Шизуоки, ST - трог Сагами.

Срединная линия Японии и районы, расположенные вблизи нее, в частности, зона поперечных разломов Неодани к северу от г. Нагойя, являются местами, где происходили наиболее сильные внутриостровные землетрясения Японии: Нобийское, 1891 г. ($M=8.0$), Фукуи, 1948 г. ($M=7.1$), Микава, 1945 г. ($M=7.0?$). Местоположение этих и других землетрясений показано на рис. 9, 10.

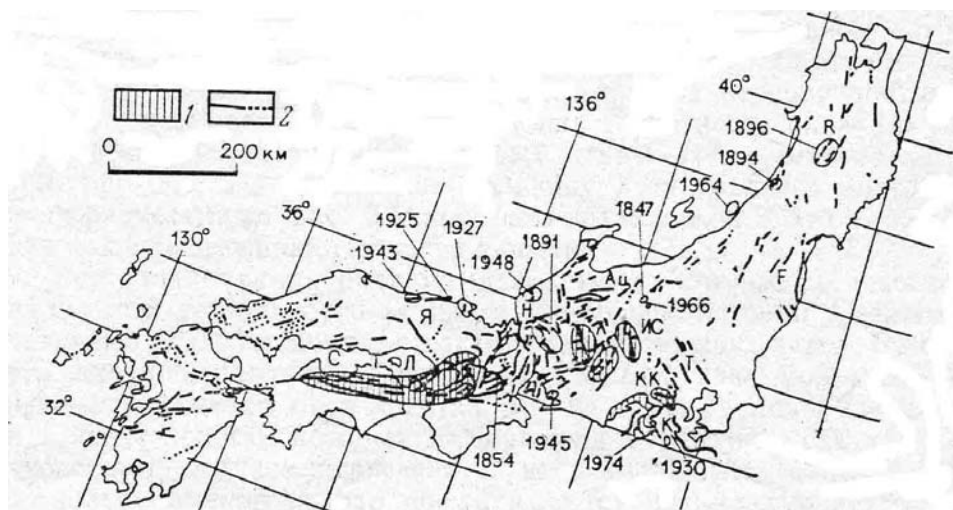


Рис. 9. Живущие разломы Японии, места и годы возникновения сильных землетрясений, по [9].

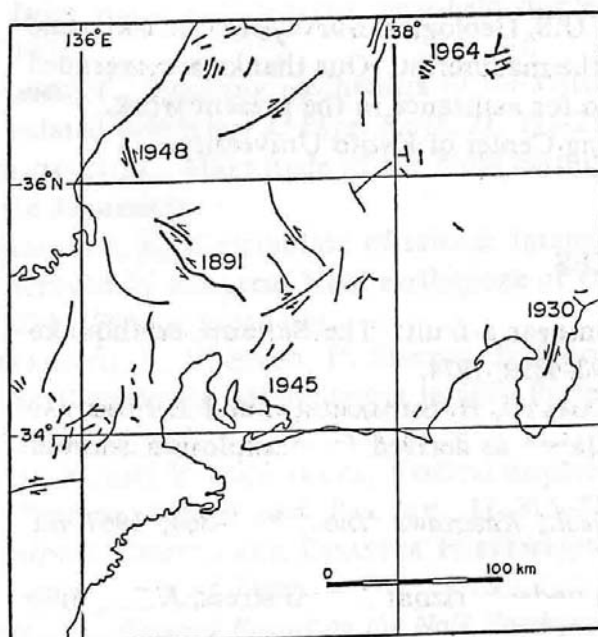


Рис. 10. Четвертичные разломы центральной части о. Хонсю, по [21].
Цифрами обозначены годы, когда происходили сильные землетрясения.

Сопоставляя приведенные данные о Срединной тектонической линии и местоположении сильных землетрясений в Японии с тем, что мы имеем на Камчатке, также можно увидеть много различий. И самое главное – это то, что Срединная линия Японии, также как Альпийский разлом в Новой Зеландии, располагается на участке, где отсутствует четвертичный вулканизм – между двух вулканических дуг, выходящих на Японские острова. Таким образом, сопоставление разлома Передового фаса Восточного хребта Камчатки и Срединной тектонической линии Японии также неправомерно.

Особенности проявления сейсмичности в вулканических районах

Существует целый ряд работ, в которых показано, что сравнительно небольшие сейсмические толчки в вулканических районах могут вызвать образование разрывов, которые в других местах (где нет вулканизма) могут быть приняты за следствие значительно более крупных событий [23,26]. Эти выводы полностью подтвердились при сейсмотектонической активизации, произошедшей в 1996 г. в районе Карымского вулканического центра на Камчатке [7,8]. Согласуется это и с выводами исследователей, которые отмечали ранее, что в вулканических районах сейсмичность снижена, она как бы «гасится» магмой, присутствующей в недрах в этих районах [24]. Согласуется это также с выводом, что существует тесная связь между сейсмичностью и температурой – в тех районах, где низкоскоростные зоны (вероятные магматические очаги) приближены к поверхности, сейсмичность значительно снижена [22].

Мы отмечали выше, что при сравнении разлома Передового фаса Восточного хребта Камчатки со Срединной линией Японии, Альпийским разломом Новой Зеландии, Продольным разломом Тайваня необходимо иметь в виду, что эти разломы находятся в районах, где отсутствует современный вулканизм. Именно это обстоятельство, по-видимому, приводит к тому, что вдоль таких разломов происходят частые и сильные землетрясения – там нет магматических тел, смягчающих жесткость земной коры. На Камчатке ситуация совсем иная – здесь широко проявлен современный вулканизм, а в недрах полуострова предполагается наличие крупных магматических тел [11]. По-видимому, именно это обстоятельство приводит к тому, что сильных землетрясений вдоль Передового фаса Восточного хребта Камчатки за все время наблюдений не зафиксировано.

Вероятная природа сейсмичности вдоль разломов Передового фаса

Наиболее молодые подвижки по разломам Передового фаса установлены вблизи Ключевской группы вулканов. Еще в ранних работах они связывались с просадками,

происходящими вблизи этого активного вулканического района [10]. Позже тектонические предпосылки сейсмичности здесь были рассмотрены В.А.Ермаковым [2]. Им предполагалось, что на границе Ключевской группы вулканов и горных массивов, расположенных восточнее, накапливаются напряжения, связанные с общим надвиганием континента на океан. В связи с этим сейсмогенными оказываются разломы ограничения глыбовых гор, в особенности в их корневых частях, где нарастает литостатическое давление (рис. 11).

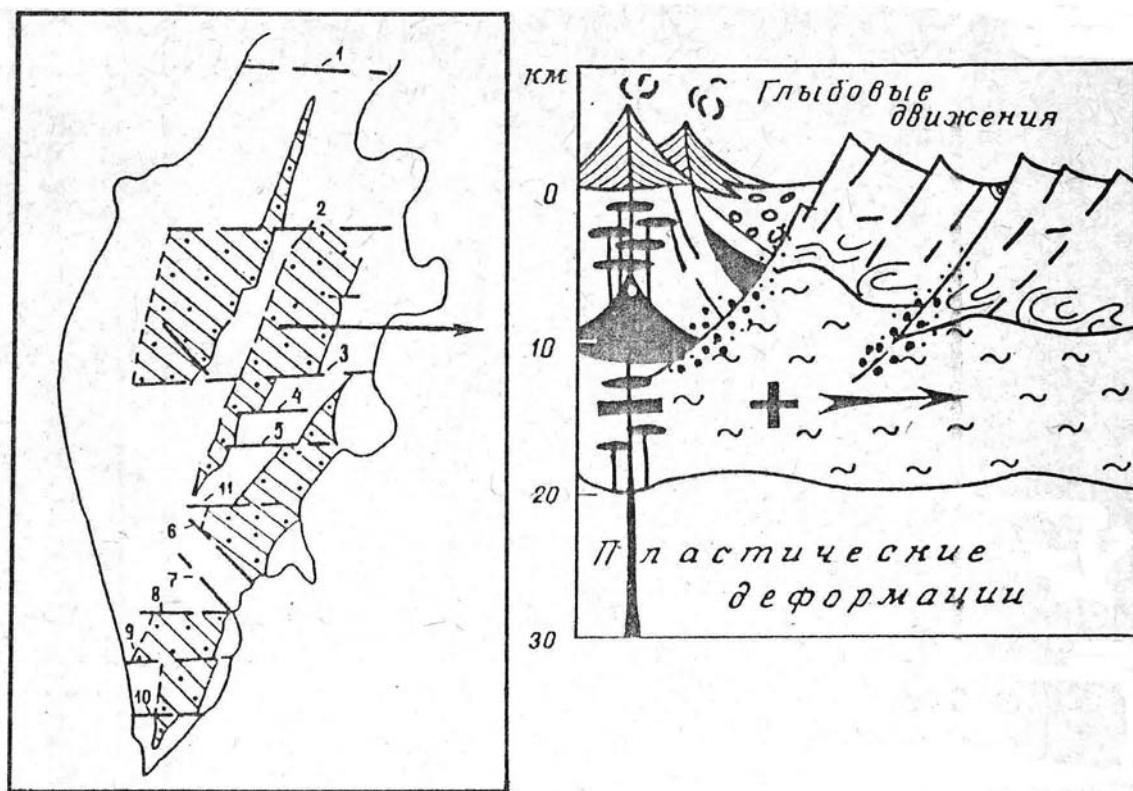


Рис. 11. Гипотетическая схема соотношения тектонических движений и сейсмичности в земной коре, по [2]. Разрез приблизительно соответствует Ключевской группе вулканов. Черным показаны магматические и интрузивные тела; точки - область вероятных землетрясений; плюсы и минусы - сжатия и растяжения. Слева на схеме цифрами обозначены главные субширотные зоны разломов, заштрихованы рифты вулканических зон.

Исходя из работ последних лет, можно предполагать и другой вероятный механизм сейсмичности - им может быть выжимание пород из-под вулканических массивов [14,20,28]. Такое выжимание связано с давлением, которое оказывают крупные вулканические постройки на ослабленные нижележащие слои, насыщенные магмой (рис. 12, 13).

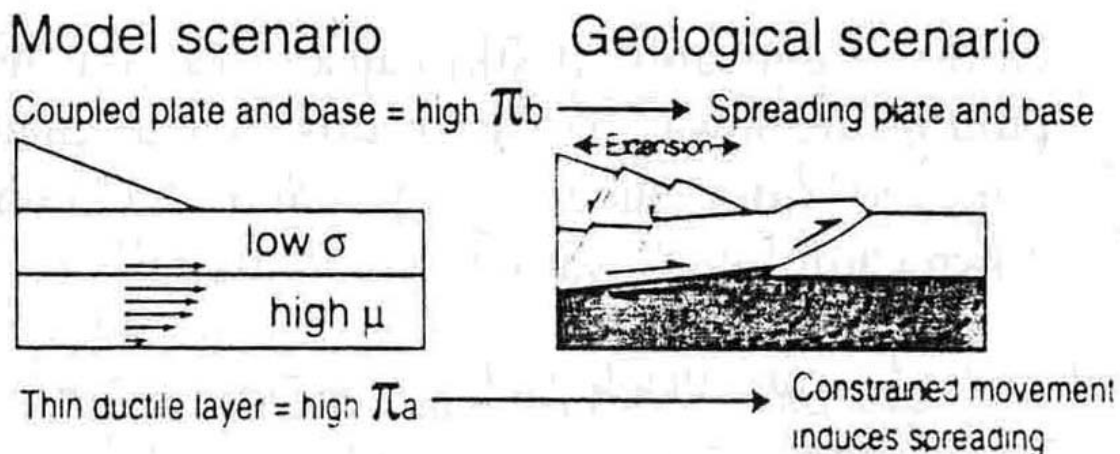


Рис. 12. Модель формирования краевых надвигов, которые происходят в результате давления вулканической постройки на субстрат при наличии в субстрате ослабленного слоя, по [28].

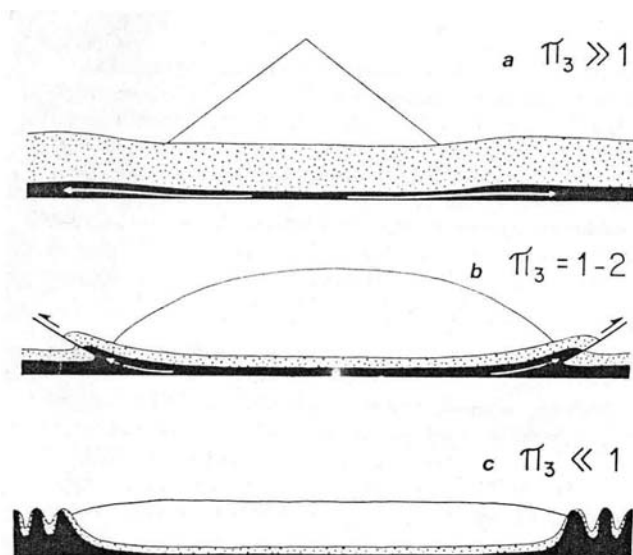


Рис. 13. Результаты экспериментов по «вулканическому спредингу», по [20]. Согласно проведенным экспериментам в зависимости от соотношения мощности пород чехла и мощности нижележащего ослабленного слоя по краям вулканической постройки могут происходить разнообразные деформации, в том числе, при определенных условиях - надвиги.

Заключение

При оценке сейсмического потенциала разломов Камчатки необходимо учитывать, что Камчатка - район активного вулканизма. Этот фактор, по-видимому, оказывает значительное влияние на сейсмичность полуострова. Имея его в виду, мы считаем, что сделанные в [4] оценки вероятной магнитуды землетрясений, которые могут произойти на Камчатке, завышены. Считать, что разлом Передового фаса Восточного хребта Камчатки подобен таким крупным сдвигам, как Срединная линия Японии, Альпийский разлом Новой Зеландии или Продольный разлом Тайваня не верно. Сейсмичность вдоль разломов Передового фаса, скорее всего, связана с вулканическими и гравитационными процессами, или с «вулканическим спредингом», который еще только начинает изучаться.

Список литературы

1. Гордеев Е.И., Гусев А.А., Левина В.И. и др. Коровая сейсмичность Камчатки // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 62-74.
2. Ермаков В.А. Тектонические предпосылки изучения сейсмичности Камчатки // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. 1993. С. 228-239.
3. Кожурин А.И. Курило-Камчатская островодужная система // Неотектоника и современная геодинамика подвижных поясов. М.: Наука, 1988. С. 67-115.
4. Кожурин А.И., Пономарева В.В., Мелекесцев И.В. и др. Внесубдукционная сейсмичность Камчатки: первые палеосейсмологические данные для Восточно-Камчатской зоны разломов // Взаимосвязь между тектоникой, сейсмичностью, магмообразованием и извержениями вулканов в вулк. дугах. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 101-102.
5. Леглер В.А. Деформация погружающейся литосферной плиты и продольные сдвиги Курило-Камчатской островной дуги // Тектоника литосферных плит. М.: Наука, 1976. С. 103-147.
6. Леглер В.А. Новейшие разломы и горизонтальные тектонические движения Восточной Камчатки // Автореф. ... кандидата геол.-мин. наук. Хабаровск, 1978. 24 с.

7. *Леонов В.Л.* Поверхностные разрывы, связанные с землетрясением и извержениями, произошедшими в Карымском вулканическом центре 1-2 января 1996 г. // Вулканология и сейсмология. 1997. № 5. С. 113-129.
8. *Леонов В.Л.* Механизм формирования разрывов, образовавшихся вблизи вулкана Карымский (Камчатка) 1-2 января 1996 г. // Вулканизм и геодинамика. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2003. С. 884-889.
9. *Мацуда Т.* Сейсмические шрамы // Методы прогноза землетрясений. Их применение в Японии. М.: Недра, 1984. С. 39-66.
10. *Мелекесцев И.В., Эрлих Э.Н.* Денудационно-тектонические горы // Камчатка, Курильские и Командорские острова (История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока). М.: Наука, 1974. С. 100-142.
11. *Федотов С.А.* Механизм Толбачинского извержения и его закономерности // Большое трещинное Толбачинское извержение (1975-1976 гг., Камчатка). М.: Наука, 1984. С. 562-575.
12. *Эрлих Э.Н.* Современная структура и четвертичный вулканизм западной части Тихоокеанского кольца. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение. 1973. 244 с.
13. *Beanland S., Blick G.H., Darby D.J.* Normal faulting in a back arc basin: geological and geodetic characteristics of the 1987 Edgumbe earthquake, New Zealand // J. Geophys. Res., 1990. V. 95. № B4. P. 4693-4707.
14. *Borgia A.* The dynamic basis of volcanic spreading // J. Geophys. Res., 1994. V. 99. P. 17791-17804.
15. *Bull W.B.* Prehistorical earthquakes on the Alpine fault, New Zealand // J. Geophys. Res., 1996. V. 101. № B3. P. 6037-6050.
16. *Cowan H., Nicol A., Tonkin Ph.* A comparison of historical and paleoseismicity in a newly formed fault zone and a mature fault zone, North Canterbury, New Zealand // J. Geophys. Res., 1996. V. 101. № B3. P. 6021-6036.
17. *Kozhurin A.I.* Active faulting of the Eurasian, North American and Pacific plates junction // Tectonophysics. 2004. 380. P. 273-285.
18. *Loevenbruck A., Cattin R., Le Pichon X. et al.* Seismic cycle in Taiwan derived from GPS measurements // Earth and Planetary Sciences 333 (2001) 57-64.
19. *Lallemand S.E., Tsien H.* An introduction to collision in Taiwan // Tectonophysics. 1997. V. 274. P. 1-4.
20. *Merle O., Borgia A.* Scaled experiments of volcanic spreading // J. Geophys. Res., 1996. V. 101. P. 13805-13817.
21. *Mikumo T., Ando M.* A search into the faulting mechanism of the Great Nobi earthquake // J. Phys. Earth. 1976. V. 24. P. 63-87.
22. *Okibo Y., Matsunaga T.* Curie point depth in northeast Japan and its correlation with regional thermal structure and seismicity // J. Geophys. Res., 1994. V. 99. № 11. P. 22363-22371.
23. Paleoseismology. Ed. J.P. McCalpin. Academic Press. 1996. 553 p.
24. *Parsons T., Thompson G.A.* The role of magma overpressure in suppressing earthquakes and topography: worldwide examples // Science. 1991. V. 253. P. 1399-1402.
25. *Sheu Hwa-Chu, Yu Li-Fang, Sato H.* Faults and its tectonic background of 1935 Hsinchug-Taichung earthquake and 1999 Taiwan earthquake // J. Geodetic Soc. Japan, 2000. V. 46. № 1. P. 69-82.
26. *Smith R.P., Jackson S.M., Hackett W.R.* Paleoseismology and seismic hazards evaluations in extensional volcanic terrains // J. Geophys. Res., 1996. V. 101. № B3. P. 6277-6292.
27. *Tsutsumi H., Okada A.* Segmentation and Holocene surface faulting on the Median Tectonic Line, southwest Japan // J. Geophys. Res., 1996. V. 101. № B3. P. 5855-5871.
28. *Van Wyk de Vries B., Matela R.* Stiles of volcano-induced deformation: numerical models of substratum flexure, spreading and extrusion // J. Volcanol. Geotherm. Res., 1998. V. 81. P. 1-18.