

УДК 550.34:551.242

СЕЙСМОАКТИВНЫЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ КАМЧАТСКОЙ ЗОНЫ
СУБДУКЦИИ И МЕТОДИКА ИХ ВЫДЕЛЕНИЯ

Г.П. Авдейко, А.А. Палуева, С.В. Лепиньч

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

Курило-Камчатская дуга и прилегающие участки Тихого океана являются ареной проявления современных тектонических движений. Падающий под Камчатку сейсмофокальный слой маркирует зону субдукции, т.е. поддвижения Тихоокеанской плиты под Евразийскую. Строение сейсмофокальных зон (СФЗ) – это ключ к пониманию динамики и кинематики взаимодействия континентальной и океанической литосферных плит. Этой проблеме было посвящено специальное совещание Межведомственного тектонического комитета и Комиссии АН по проблемам Мирового океана [4].

Геометрия СФЗ Камчатки как единой структуры достаточно подробно рассмотрена в ряде работ. В частности, в наиболее полной работе [7] отмечается, что СФЗ имеет горизонтальную часть на глубинах 0-50 км, которая прослеживается полосой шириной около 200 км между глубоководным желобом и побережьем Камчатки, с максимумом сейсмичности на глубинах до 40 км. Глубже СФЗ имеет вид слоя толщиной 40-50 км, падающего под Камчатку под постоянным углом в 50°. Выход оси фокального слоя на поверхность проходит по восточным полуостровам и маркируется линией максимальной сейсмичности. Авторы приходят к выводу, что «фокальная зона удивительно однородна по форме и строению вдоль Камчатки на протяжении порядка 700 км от мыса Лопатка на юге Камчатки до Камчатского залива» [7, стр.102], а заметных связей пространственной локализации очагов с тектоникой Камчатки не наблюдается.

Вместе с тем, на примере Курило-Камчатской дуги была разработана концепция сейсмических брешей и сейсмических циклов [5,6], которая применяется для долгосрочного прогноза сильных землетрясений. Наличие сейсмических брешей, заполняемых афтершоками сильных землетрясений через определенные интервалы времени, свидетельствует о неоднородности строения (сегментации) вдоль СФЗ. Основываясь на этом, Л.И. Лобковский и Б.В. Баранов (1984) разработали клавишно-блоковую модель [2]. Суть ее заключается в том, что фронтальный край надвигаемой (в данном случае Евразийской) плиты разбит продольными и поперечными разломами на отдельные блоки-клавиши [2]. Блок, достигший предела напря-

женного состояния, при сильных землетрясениях скачкообразно перемещается в сторону глупобочного желоба, какое-то время продолжает двигаться по инерции, а затем останавливается и начинает пассивно перемещаться в противоположную сторону вместе с поддвигаемой плитой до следующего накопления сейсмической энергии. Границы блока очерчиваются очаговой зоной афтершоков. При сильных землетрясениях движениями могут быть охвачены два и более соседних блоков, как, например, во время сильного Кроноцкого землетрясения ($M=7.0$) в декабре 1997 г.

Появление новых методов и технологий компьютерной обработки сейсмологических данных позволяет на современном уровне рассмотреть проблему кинематики и геодинамики взаимодействия литосферных плит в зоне субдукции, оценить связь сейсмических событий с тектоническим строением, выделить отдельные сейсмоактивные тектонические структуры.

Исходный сейсмологический материал. В настоящей работе использован каталог камчатских землетрясений, составленный и пополняемый Камчатской опытно-методической сейсмологической партией ГС РАН по наблюдениям региональной сети сейсмических станций за период 1962-2001 гг. Нами проанализированы данные по землетрясениям с $K \geq 9.5$ ($M \approx 3.3$). За 40-летний период наблюдений в исследуемом районе, в интервале координат 50° - 57° с.ш. 157° - 167° в.д. насчитывается 15189 землетрясений такого класса. Точность определения координат эпицентра составляет 10-15 км, на удалении от сети сейсмических станций – до 30 км, а точность определения глубины очага – около 20 км, на удалении возможны ошибки до 50 км. Следует подчеркнуть, что на практике обеспечивается более высокая точность взаиморасположения очагов землетрясений за счет постоянства сети наблюдений и методики обработки [7]. Поэтому для анализа структурной приуроченности очагов землетрясений мы использовали данные по всем землетрясениям.

Методика анализа. На первом этапе работ мы применяли стандартные методики, т.е. построение карт эпицентров землетрясений, построение карт на разные горизонты (0-50, 50-100, 100-200, 200-300, 300-400, >400 км) с более детальной разбивкой в верхней части (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 км), построение поперечных и продольных разрезов. Для анализа последовательности сейсмических событий, при которых может проявиться характер движения по разрывам в пределах отдельных блоков, строились карты эпицентров землетрясений на каждый год (40 карт), а при выявлении скоплений очагов землетрясений, заполняющих определенные площади, роев землетрясений, а также землетрясений, выстраивающихся в линии, строились карты по месяцам (240 карт). Для сильных землетрясений, сопровождаемых афтершоками, были построены карты эпицентров в такой последовательности: за неделю до основного толчка, основной толчок и час после него, 6 часов, 12 часов, сутки, неделя, месяц после основного толчка. В некоторых случаях, в частности по Кроноцкому землетрясению

1997 г. и по ряду землетрясений июня-июля 1996 г., анализировались события по более коротким интервалам.

С помощью пакета программ **Arc View** был подготовлен также анимационный вариант последовательности землетрясений, который демонстрировался в докладе. Эпицентры землетрясений наносились на батиметрическую карту Камчатско-Командорского региона [3], которая является наиболее подробной из всех, имеющихся для этого района.

Выполнение всех этих операций, несмотря на компьютерную обработку данных, является трудоемким, длительным процессом. Особенно трудоемким является процесс сопоставления карт и разрезов при анализе сейсмоактивных тектонических структур. Последнего недостатка лишена методика построения объемных вращаемых моделей с помощью пакета программ **Maple 7**. Эта методика позволяет вырезать отдельные блок-диаграммы, помещать гипоцентры всех или определенно выбранных землетрясений и путем вращения рассматривать землетрясения с любой стороны. Мы анализировали блок-диаграммы для всего исследуемого района за весь период наблюдений, по годам с учетом и без учета энергии землетрясений (более 80 блок-диаграмм), а также с учетом последовательности афтершоков для Кроноцкого землетрясения декабря 1997 г. и для роя землетрясений в Авачинском заливе в июне-июле 1996 г. На блоки были нанесены береговая линия, местоположение глубоководного желоба и положение плоскости скольжения (трения) при поддвигании Тихоокеанской плиты под Евразийскую. Эта плоскость позволяет анализировать отдельно землетрясения в пределах нависающего (надвигаемого) края Евразийской плиты и внутри Тихоокеанской плиты. На рис.1 показан пример двух положений блок-диаграмм Кроноцкого землетрясения 1997 г.

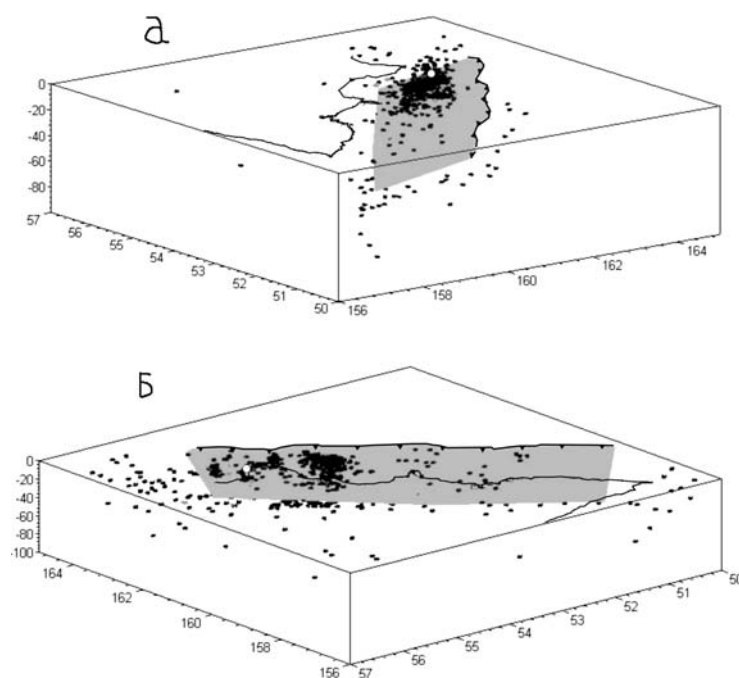


Рис.1. Пример вращаемой блок-диаграммы за 1997г.

а—вид с юго-запада, сверху; б—вид с северо-запада, сверху. Белый кружок—местоположение основного толчка ($M=7.0$), линия с зубцами—ось глубоководного желоба.

При анализе движений по отдельным блокам мы использовали данные по механизмам очагов сильных землетрясений, определенных в Гарвардском университете (США).

Сейсмоактивные структуры. При анализе карт, разрезов и вращаемых блок-диаграмм выявляются следующие закономерности.

1. Очаги почти всех сильных землетрясений, произошедших в период 1962-2003 гг., приурочены либо к зоне перегиба Тихоокеанской плиты, либо вблизи нее в пределах нависающей Евразийской плиты на глубинах до 40 км.
2. На продольных сейсмических разрезах в Евразийской плите отчетливо проявлены сейсмоактивные участки и участки резко пониженной сейсмической активности. Такая же картина видна и на погоризонтных картах эпицентров землетрясений, но на них просвечивают очаги более глубоких землетрясений, располагающихся уже в пределах Тихоокеанской плиты.

В пределах нависающего края Евразийской плиты наблюдаются поперечные сейсмоактивные разломы, по-видимому, являющиеся сдвигами, разделяющими соседние сейсмоактивные сегменты (рис.2). В свою очередь, в каждом сегменте выделяются более мелкие сейс-

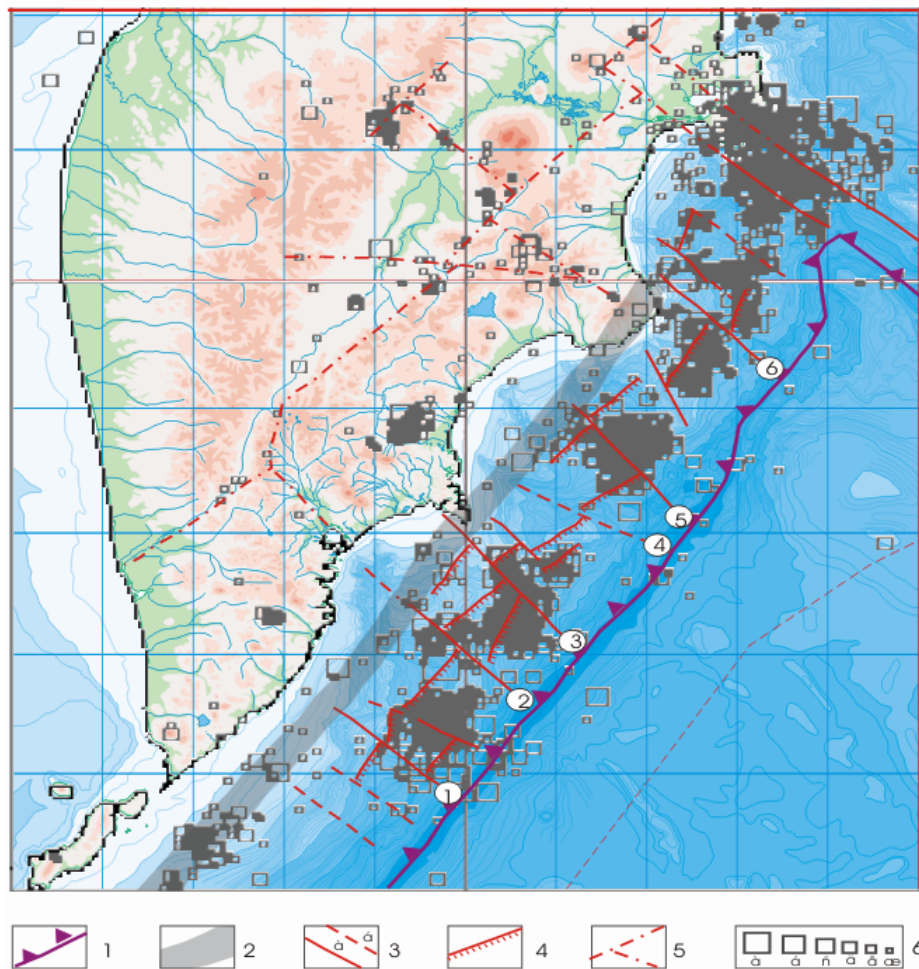


Рис.2. Схематическая карта сейсмоактивных разломов континентального склона Восточной Камчатки. 1—ось глубоководного желоба; 2—зона резкого перегиба Тихоокеанской плиты на глубине около 40 км; 3—поперечные разломы (сдвиги) в надвигаемом (нависающем) краю Евразийской плиты; 4—взбросы; 5—сейсмоактивные разломы в пределах полуострова; 6—эпицентры землетрясений (размер квадрата пропорционален энергии землетрясения).

моактивные блоки, ограниченные взбросами с падением плоскости сместителя в направлении, противоположном направлению субдукции. Полученные данные являются подтверждением реальности клавишно-блоковой модели Л.И.Лобковского, Б.В. Баранова [2]. Анализ данных о механизмах очагов землетрясений [1,8] находятся в соответствии с этой моделью.

Вместе с тем, следует подчеркнуть, что реальная картина является значительно более сложной, чем модель. Так, участки относительного молчания, располагавшиеся на месте зоны афтершоков Кроноцкого землетрясения до него, оказались незаполненными и во время землетрясения. В отличие от сейсмических брешей, которые располагаются между очаговыми зонами сильных землетрясений [5] участки молчания располагаются внутри очаговой зоны афтершоков. Относительно их природы возможны два альтернативных объяснения: либо это участки сильного трения между плитами, либо это, наоборот, участки очень слабого трения плит, при котором смещение их относительно друг друга происходит без заметных толчков. На наш взгляд, в данном случае предпочтительно второе объяснение.

Характерной особенностью рассматриваемого участка взаимодействия Тихоокеанской и Евразийской плит является поддвигание поднятия Обручева, являющегося продолжением Гавайско-Императорской цепи вулканов, сильные неровности рельефа которой сглажены перекрывающимися осадками.

Вогнутые подножия вулканических гор, особенно если они покрыты глинистыми осадками, могут быть участками слабого сцепления, где практически не происходит накопления энергии.

Поддвигание поднятия Обручева влияет также и на геометрию зоны субдукции, выявленную в работе [7]. По нашему мнению, изменение геометрии зоны поддвига обусловлено уменьшением отрицательной плавучести поддвигаемой Тихоокеанской плиты за счет увеличения мощности коры.

В заключение следует подчеркнуть, что выявленная сегментация, по-видимому, является естественным процессом и обусловлена неравномерностью трения двух взаимодействующих плит. Ретроспективный анализ сейсмических событий в каждом сегменте позволит более точно, чем по методике сейсмических брешей, прогнозировать время и особенно место следующего сильного землетрясения.

Список литературы

1. Балакина Л.М. Сейсмичность и механизм очагов землетрясений // Геофизика океана. Т.1. Геофизика океанского дна. М.: Наука. 1979. С.357-374.

2. Лобковский Л.И., Баранов Б.В. Клавишная модель сильных землетрясений в островных дугах и активных континентальных окраинах // Докл. АН СССР. 1984. Т.275. № 4. С.843-847.
3. Селиверстов Н.И. Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М.: Научный мир. 1998. 164 с.
4. Строение сейсмофокальных зон // Ред. Ю.М.Пущаровский. М.: Наука. 1987.
5. Федотов С.А. О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии // Тр. Ин-та физики Земли АН СССР. 1965. № 36(203). С.66-93.
6. Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука. 1968. С.121-150.
7. Федотов С.А., Гусев А.А., Чернышова. Г.В., Шумилина Л. С. Сейсмофокальная зона Камчатки (геометрия, размещение очагов землетрясений и связь с вулканизмом) // Вулканология и сейсмология. 1985. № 4. С.83-90.
8. Christova C. Depth distribution of stress in the Kamchatka Wadati-Benioff zone inferred by inversion of earthquake focal mechanisms // Journ. of Geodynamics. 2001. № 31. P.355-372.