

УДК 550.34:551.242

## СЕГМЕНТАЦИЯ КАМЧАТСКОЙ ЗОНЫ СУБДУКЦИИ И ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕГМЕНТОВ

© 2010 Г.П. Авдейко<sup>1,2</sup>, А.А. Палуева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006;  
e-mail: gavdeiko@kscnet.ru

<sup>2</sup>Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, 683031

В результате ретроспективного анализа сейсмических событий и разрядки сейсмической энергии по выделенным ранее сегментам установлено, что наибольшую сейсмическую опасность представляет Северо-Авачинский сегмент, в котором за период с 1737 г. произошло семь из 24 землетрясений с магнитудой 7 и более с максимальными величинами энергии как в зоне поддвига Тихоокеанской плиты, так и в зоне ее резкого изгиба при упоре в Охотскую плиту. В шести северных сегментах между Шипунским полуостровом и полуостровом Камчатский Мыс основная разрядка сейсмической энергии происходила в зоне поддвига и была приурочена к взбросо-надвиговым блокам, которые в рельефе дна проявляются в виде возвышенностей. Наибольшую опасность представляют взбросо-надвиговые блоки Северо-Шипунского и Центрально-Кроноцкого сегментов, которые в настоящее время являются сейсмическими брешами. В трех южных сегментах (Южно-Камчатском, Ходуткинском и Южно-Авачинском), где в отличие от северных сегментов сформировался стационарный режим субдукции, основная разрядка сейсмической энергии происходит в зоне изгиба Тихоокеанской плиты.

*Ключевые слова:* сеймотектоника, сейсмическая опасность, ретроспективный анализ, сегментация, субдукция, Камчатка.

### ВВЕДЕНИЕ

Камчатка является одним из наиболее активных и сейсмически опасных районов России и Тихоокеанского кольца. На основании выявленных пространственно-временных закономерностей проявления сейсмических событий в Курило-Камчатской островодужной системе С.А. Федотовым (1965, 1968) была разработана концепция сейсмических циклов и сейсмических брешей и на ее основе — методика долгосрочного сейсмического прогноза места возникновения сильных землетрясений с магнитудой 7.7 и более. После создания модели субдукции (Isaks et al., 1968) концепция сейсмических циклов и сейсмических брешей получила геотектоническое обоснование и развитие в ряде работ. Этой проблеме была посвящена специальная конференция (Лобковский, 1988; Лобковский и др., 2004; Proceedings..., 1978). Л.И. Лобковский и Б.В. Баранов (1985), основываясь на закономерностях распределения землетрясений в

Курило-Камчатской островной дуге, разработали клавишно-блоковую модель взаимодействия литосферных плит, по которой надвигаемая (нависающая) плита разбита на отдельные блоки-клавиши, реагирующие автономно на сколовые напряжения поддвигаемой плиты. На основании анализа последовательности и локализации гипоцентров очаговых зон сильных землетрясений и соотношения их с морфоструктурами континентального склона Восточной Камчатки мы провели сеймотектоническое районирование Камчатской зоны субдукции (Авдейко, Палуева, 2008; Авдейко и др., 2004). В зоне ортогонального взаимодействия Тихоокеанской и Охотской литосферных плит выделено 10 сегментов, разделенных сейсмоактивными сдвигами, что согласуется с клавишно-блоковой моделью. В данной статье проведен ретроспективный анализ последовательности сейсмических событий по выделенным ранее сегментам и дана оценка сейсмической опасности с учетом сейсмической энергии, выделенной в каждом сегменте.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА  
ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА

При проведении ретроспективного анализа сейсмических событий и пространственно-временных характеристик очагов землетрясений мы использовали каталог землетрясений Камчатки, составленный и пополняемый Камчатским филиалом Геофизической службы РАН по наблюдениям региональной сети сейсмических станций. Каталог содержит данные о землетрясениях, начиная с 1962 г., когда начались детальные инструментальные наблюдения, и размещен в сети Интернет ([http://data.emsd.iks.ru/dbquaketxt\\_min/index\\_r.htm#tops](http://data.emsd.iks.ru/dbquaketxt_min/index_r.htm#tops)). Для оценки энергии землетрясений в каталоге применяется шкала энергетических классов ( $K_s$ ) С.А. Федотова (1972).

В работе в основном использованы данные по землетрясениям с  $K_s \geq 9.0$ , так как уверенно регистрируются землетрясения, начиная с  $K_s = 8.5$  (Селиверстов, 2007). За период наблюдений вплоть до 2008 г. в исследуемом районе (в интервале координат  $50-57^\circ$  с.ш.,  $157-167^\circ$  в.д.) произошло более 23000 землетрясений с  $K_s \geq 9.0$ . Для тектонической приуроченности очагов землетрясений к выделенным сегментам или разломам важна оценка точности определения координат их эпицентров и глубин очагов. В среднем точность определения координат 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 (Федотов и др., 1985). При проведении ретроспективного анализа сейсмичности по сегментам мы использовали данные по всем землетрясениям начиная с 10-го энергетического класса и выше ( $K_s \geq 10$ ), для которых точность определения эпицентров лучше. По более ранним, в основном сильным землетрясениям, произошедшим, начиная с 1737 г., использовались данные каталога (Новый..., 1977), в котором применяется шкала магнитуд ( $M$ ), преимущественно по поверхностным волнам, и Каталог Камчатских землетрясений (Гусев, Шумилина, 2004), пересчитанный на моментные магнитуды ( $M_w$ ). Для сопоставления сейсмической энергии, выделенной в каждом сегменте, мы использовали энергетические классы, а для периода до детальных наблюдений – данные по магнитудам (Новый..., 1977), пересчитанные на энергетические классы по соотношению  $K = 4.6 + 1.5M$  С.А. Федотова (1972).

При сопоставлении сейсмоактивных струк-

тур с морфоструктурами континентального склона Восточной Камчатки была использована батиметрическая карта Камчатско-Командорского региона (Селиверстов, 1998). Эта карта составлена по результатам детальных исследований, проведенных в рейсах НИС «Вулканолог» в 1977-1991 гг., и является наиболее полной и подробной из всех, имеющихся для этого района.

Методика выделения сейсмоактивных структур подробно изложена в статье (Авдейко и др., 2004). Наряду с картами эпицентров землетрясений по годам (1962-2009), для восьми сильных землетрясений, сопровождаемых афтершоками, и 19 роев землетрясений были построены аналогичные карты по часам, дням, неделям и месяцам для периодов от полугода до года, а для роев землетрясений – на периоды их проявлений. Это позволило реконструировать движения по отдельным сейсмоактивным разломам. Кроме того, строились карты на разные горизонты (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-100, 100-200, 200-300, 300-400, более 400 км), а также поперечные и продольные сейсмические разрезы за весь период детальных наблюдений и на отдельные сейсмические события – сильные землетрясения с афтершоками и рои землетрясений.

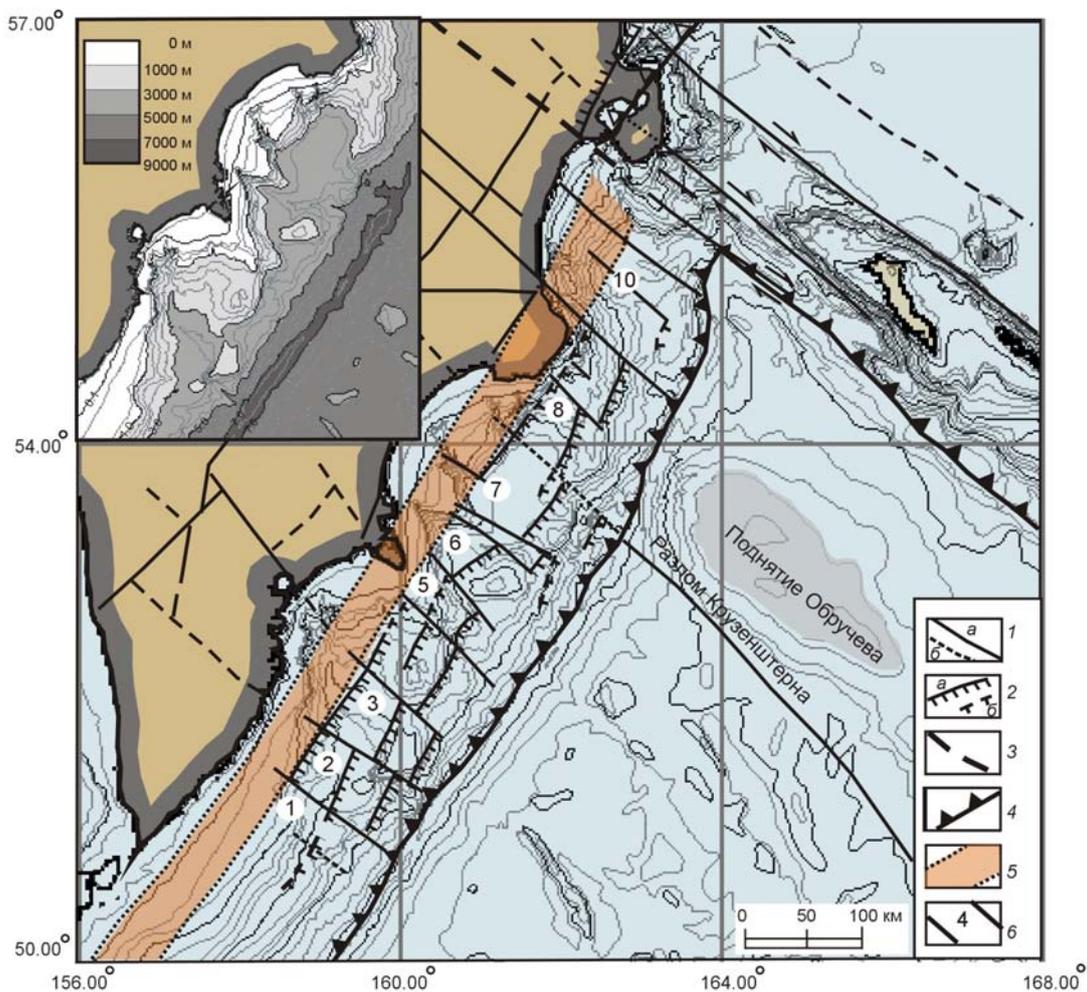
Для выявления приуроченности землетрясений к конкретным тектоническим структурам использовалась методика построения трехмерных вращаемых диаграмм с помощью пакета программ Maple 7. Эта методика позволяет анализировать отдельные сейсмические события, наблюдая их с разных сторон. Мы вырезали блок-диаграммы (объемные модели) для всего исследуемого района в координатах  $51-57^\circ$  с.ш. и  $157-161^\circ$  в.д. с землетрясениями с  $K_s \geq 9.5$  за весь период наблюдений, а также по годам (1962-2009 гг.) и на отдельные сейсмические события (сильные и роевые землетрясения). На эти блок-диаграммы были нанесены береговая линия, местоположение глубоководного желоба и положение плоскости взаимодействия субдуцируемой Тихоокеанской и нависающей Охотской плит. Положение этой пограничной плоскости с Тихоокеанской стороны определяется положением глубоководного желоба, а со стороны Камчатки – верхней поверхностью зоны резкого изгиба Тихоокеанской плиты, маркируемой увеличением числа и энергии землетрясений, которая в Камчатской зоне субдукции проходит на глубине 30-40 км. Выделение этой границы позволяет анализировать отдельно землетрясения в пределах нависающего (надвигаемого) края Охотской плиты и внутри Тихоокеанской плиты. Некоторые ограничения связаны с точностью определения глубины очагов землетрясений.

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОЕ  
РАЙОНИРОВАНИЕ  
И СЕЙСМОАКТИВНЫЕ СТРУКТУРЫ

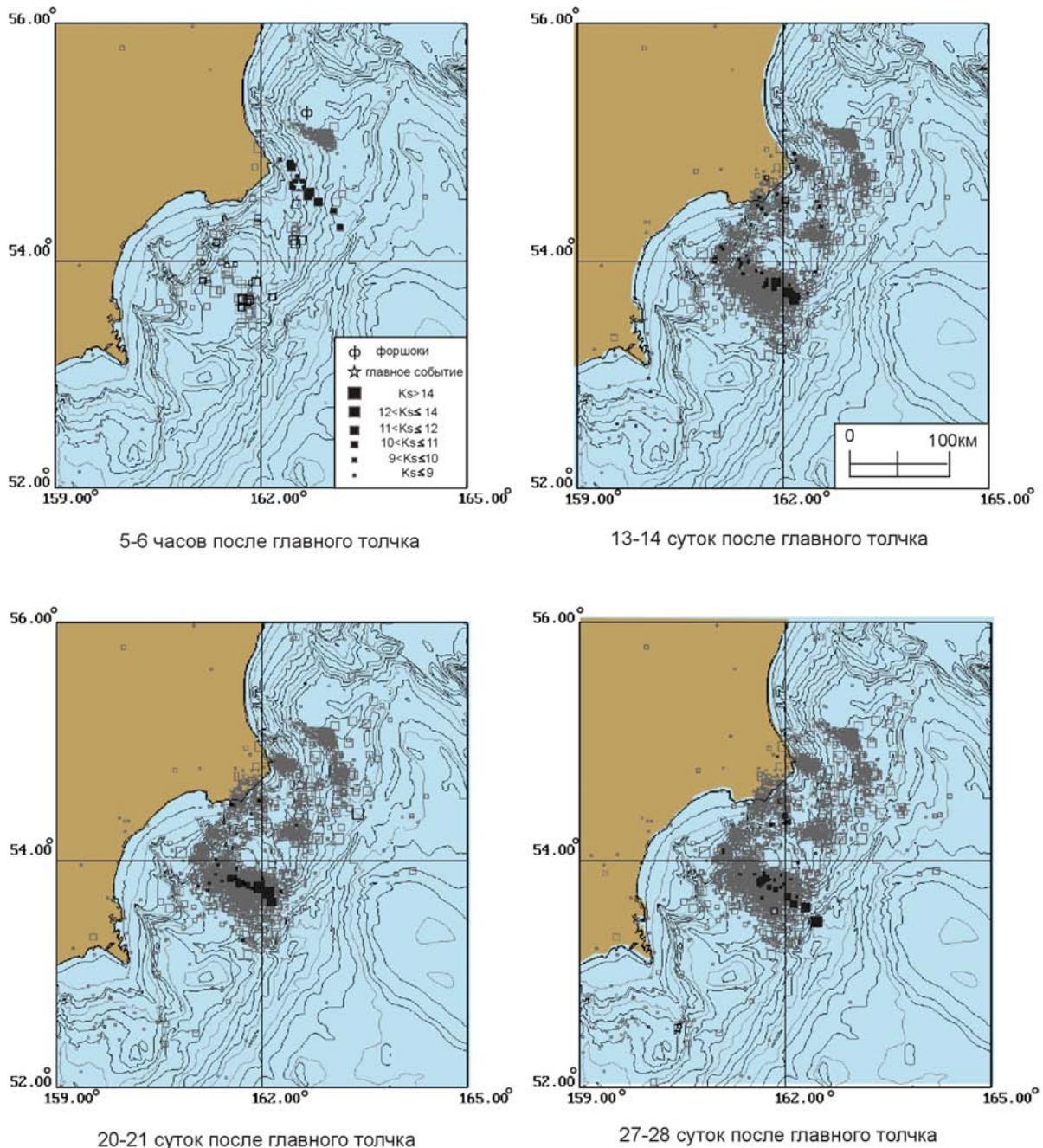
Проведенное нами сейсмотектоническое районирование Камчатской зоны субдукции позволило выделить сейсмоактивные структуры, связанные с разрывными нарушениями (Авдейко, Палуева, 2009; Авдейко и др., 2004). В пределах надвигаемого (нависающего) края Охотской плиты, на участке ее непосредственного взаимодействия с поддвигаемой Тихоокеанской плитой от мыса Лопатка до Камчатско-Алеутского сочленения, мы выделили 10 сейсмоактивных сегментов, разделенных сдвигами (рис. 1).

Сейсмоактивные сегменты выделены по нескольким признакам. Наиболее надежным

критерием являются очаговые зоны афтершоков сильных землетрясений, границы которых являются границами сегментов. Очаговые зоны некоторых сильных землетрясений могут охватывать несколько сегментов. Например, очаговая зона Кроноцкого землетрясения 5.12.1997 г., по нашему мнению, охватывала три сегмента. В пределах этой очаговой зоны проявилась «зона молчания», в которой практически отсутствовали афтершоки (рис. 2). При таком сильном землетрясении, которое произошло 5 декабря 1997 г. ( $M = 7.9$ ,  $M_w = 7.9$ ), «зона молчания» могла проявиться либо при очень слабом (криповое скольжение), либо при очень сильном сцеплении между взаимодействующими плитами. Второе предположение предпочтительнее, так как в пределах этой зоны произошло два сильных



**Рис. 1.** Карта сейсмотектонического районирования субдукционной системы Камчатско-Алеутского сочленения. На врезке и основном рисунке – фрагменты батиметрической карты из (Селиверстов, 1998): 1 – сейсмоактивные разломы: *a* – отчетливо проявленные, *б* – слабо проявленные; 2 – сейсмоактивные взбросо-надвиги: проявленные (*a*), предполагаемые (*б*); 3 – предполагаемая граница между Охотской и Северо-Американской плитами над краем субдуцируемой Тихоокеанской плиты; 4 – ось глубоководного желоба; 5 – зона максимального числа землетрясений, соответствующая резкому изгибу Тихоокеанской плиты и фронтальной (тектонической) дуге; 6 – сегменты и их номера (1 – Южно-Камчатский, 2 – Ходуткинский, 3 – Южно-Авачинский, 4 – Северо-Авачинский, 5 – Южно-Шипунский, 6 – Северо-Шипунский, 7 – Южно-Кроноцкий, 8 – Центрально-Кроноцкий, 9 – Северо-Кроноцкий, 10 – Усть-Камчатский).



**Рис. 2.** Карты выстраивающихся в линию эпицентров афтершоков землетрясения 5 декабря 1997 г. Эпицентры землетрясений на указанное время показаны черными квадратами предыдущего этапа – серыми.

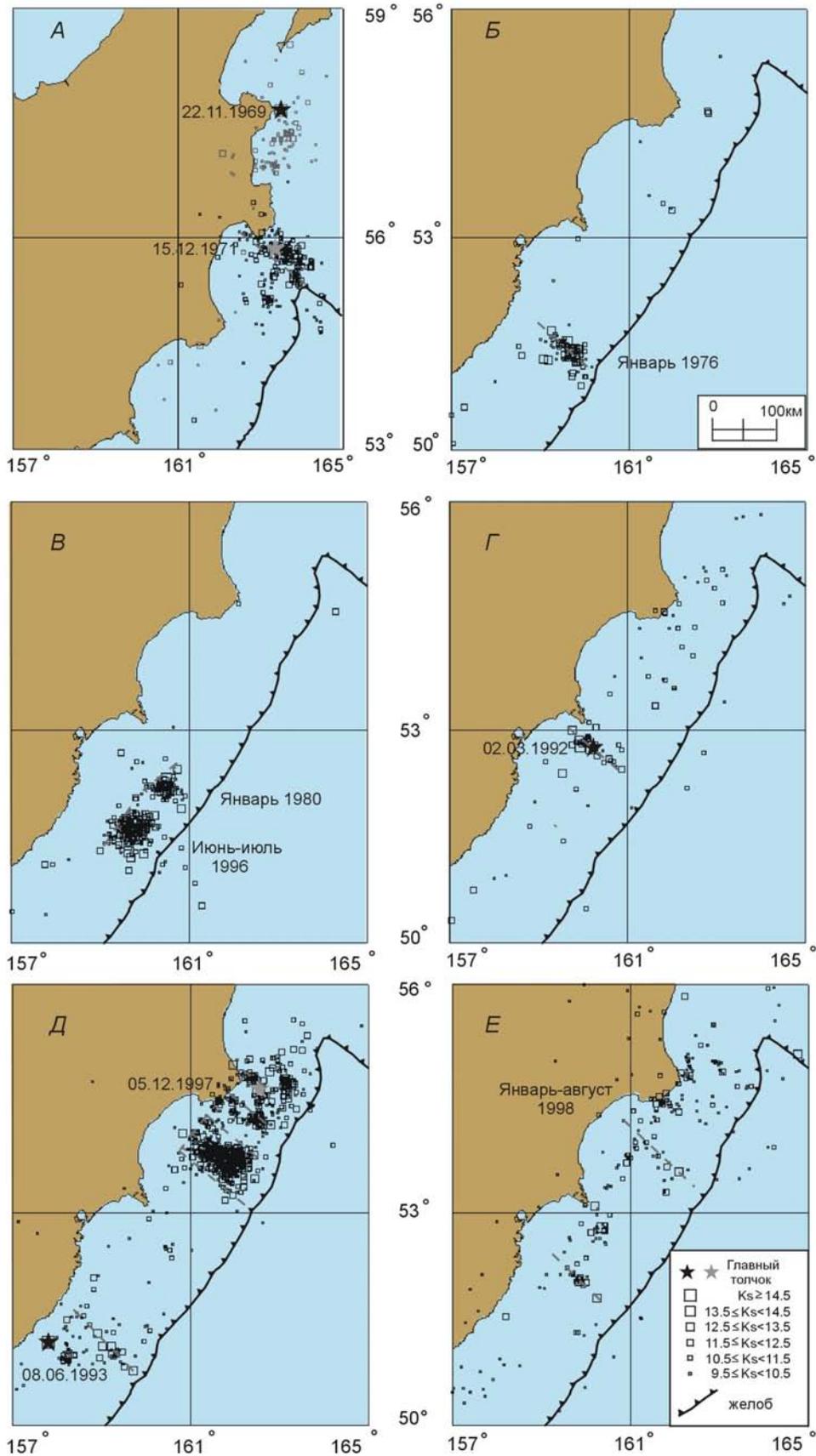
землетрясения в 1790 г. ( $M = 7.5$ ,  $M_w = 7.5$ ) и в 1792 г. ( $M = 8.4$ ,  $M_w = 8.8$ ), причем второе, более сильное, являлось цунамигенерирующим. Эту «зону молчания» мы выделили в отдельный сегмент, так как она фактически является сейсмической брешью, в которой идет подготовка к следующему сильному, возможно, цунамигенерирующему землетрясению.

За границы сейсмоактивных сегментов приняты сейсмоактивные разломы, субперпендикулярные к простиранию сейсмофокальной зоны. Большинство из них показано на рис. 3. Кроме того, при выделении сегментов учитывался ретроспективный анализ пространственного

распределения сейсмичности и характер распределения гипоцентров землетрясений на разной глубине. Следует оговориться, что на данный момент границы сейсмоактивных сегментов выделены недостаточно четко. Это связано с точностью определения гипоцентров землетрясений, а также с кратковременностью периода детальных наблюдений (с 1962 г.). В связи с этим в дальнейшем возможна корректировка сегментов и их границ.

В пределах сегментов, за исключением Южно-Камчатского, выделяются надвиговые блоки, обычно по два надвиговых блока в каждом сегменте. Моделирование формирования надви-

СЕГМЕНТАЦИЯ КАМЧАТСКОЙ ЗОНЫ СУБДУКЦИИ



**Рис. 3.** Карты эпицентров сильных землетрясений, их афтершоков, произошедших в течение месяца (А, Г, Д), и роев землетрясений (Б, В, Е): А, Д – по два сильных землетрясения; Г – землетрясения, предварявшие сильное землетрясение 2 марта 1992 г., начиная с июля 1991 г. (форшоки) и афтершоки. Внутри очаговой зоны Кроноцкого землетрясения отчетливо проявлен участок «сейсмического молчания.»

гов, приводящих к образованию тектонических террас на континентальном склоне островных дуг, проведено А.И. Шемендой (Лобковский и др., 1980) и подтверждено Л.М. Балакиной (1983) при анализе механизмов очагов землетрясений в Курило-Камчатской зоне.

В зоне непосредственного взаимодействия поддвигаемой Тихоокеанской и надвигаемой (нависающей) Охотской плит при ретроспективном анализе сейсмичности мы выделяем (рис. 1):

- пологий участок взаимодействия с падением плоскости сместителя на северо-запад под углом 10-12° (зона поддвига);

- зону резкого изгиба Тихоокеанской плиты, где угол падения на небольшом участке увеличивается до 50° (зона изгиба);

- зону крутого падения сейсмофокальной зоны (зона Беньофа) (Benioff, 1954).

Модель зоны резкого изгиба (излома) Тихоокеанской плиты при ее упоре об Охотскую плиту предложена Л.И. Лобковским и О.Г. Сорохтиным (1979). При этом было показано, что зона изгиба характеризуется максимальной сейсмической активностью, а положение ребра излома на поверхности «прослеживается по максимуму гравитационной аномалии Фая» (Лобковский, Сорохтин, 1979, с. 184), т. е. в свободном воздухе.

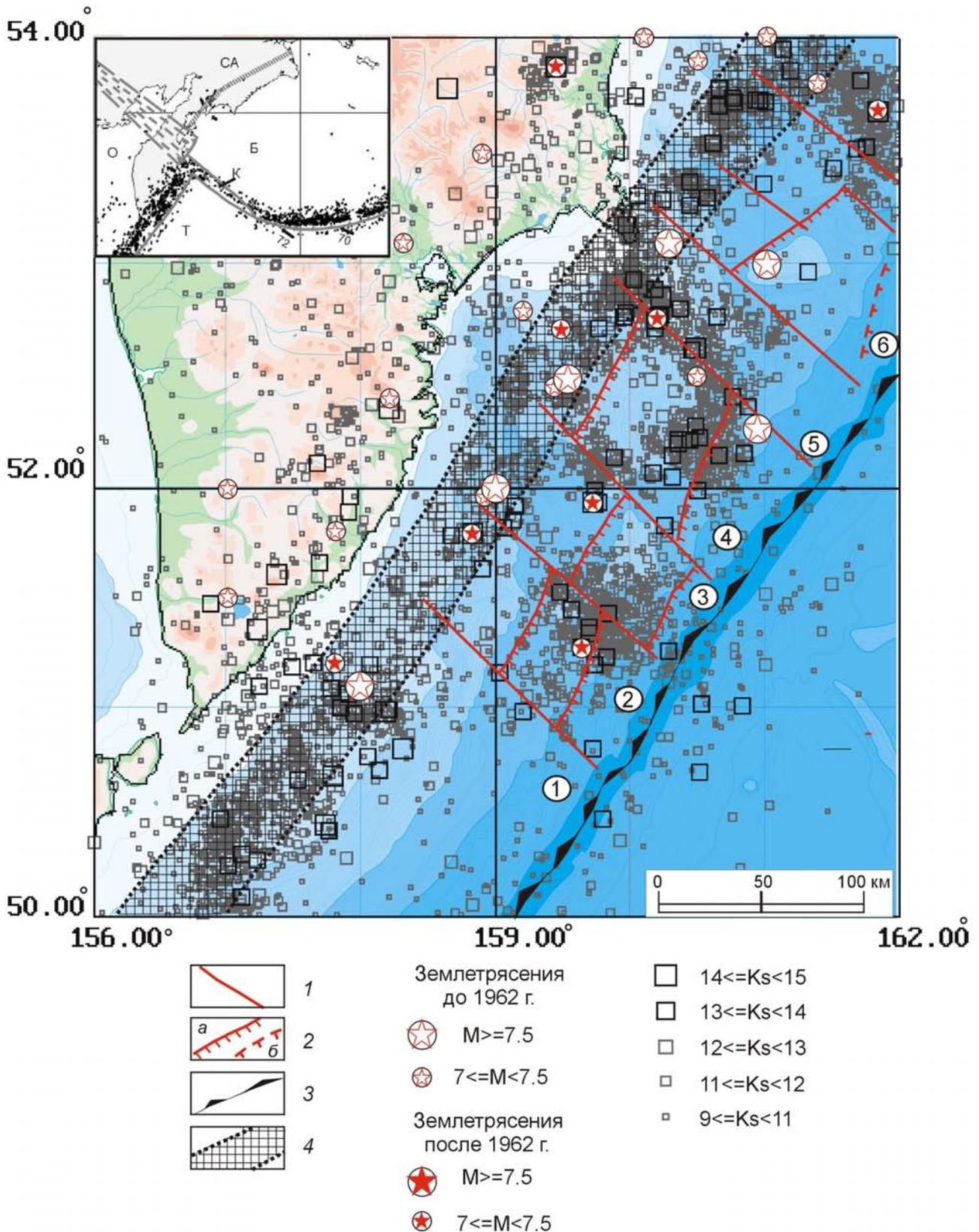
С учетом того, что тектонические движения и, соответственно, сейсмичность в каждом сегменте проявляются автономно (Лобковский, 1988; Лобковский, Баранов, 1984; Лобковский и др., 2004), ретроспективный анализ сейсмических событий рассмотрен нами отдельно в каждом из десяти сегментов с учетом их положения в пределах выделенных зон. Зоны поддвига и резкого изгиба Тихоокеанской плиты включают как землетрясения, генерируемые в плоскости взаимодействия плит, так и взбросовыми (надвиговыми) подвижками в нависающем крае Охотской плиты. Для того чтобы отличать эту зону от зоны поддвига, в дальнейшем мы будем называть ее зоной надвиговых блоков. Разделяющие сегменты сдвиги, как правило, не продолжают дальше зоны резкого изгиба и все землетрясения, происходящие за зоной изгиба на глубинах более 60 км, относятся уже непосредственно к зоне Беньофа. Зона резкого изгиба Тихоокеанской плиты, фиксируемая по максимальной сейсмичности на пересечении зоны Беньофа с горизонтальной ветвью сейсмофокальной зоны, расположена на глубине 35-40 км.

При проведении ретроспективного анализа сейсмичности мы, по возможности, акцентировали внимание на приуроченности гипоцентров и очаговых зон землетрясений к рассмотренным выше сейсмоактивным структурам. Мы

понимаем, что землетрясения, расположенные вблизи пограничных сдвигов, могут быть ошибочно отнесены к другому сегменту, так как точность определения эпицентров землетрясений, так же как и границ сегментов, недостаточна. Еще большие затруднения возникают при отнесении сильных землетрясений либо к зоне непосредственного взаимодействия плит (зоне поддвига), либо к надвиговым блокам в пределах нависающей Охотской плиты. Дополнительную информацию о положении гипоцентров сильных землетрясений дает характер распространения в пространстве и времени их афтершоков, а также роевых землетрясений, которые позволяют судить о размерах и направлении развития разрыва.

## РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧНОСТИ

**Южно-Камчатский сегмент** (рис. 1, сегмент 1) по интенсивности проявления сейсмичности и выделившейся сейсмической энергии четко делится на две зоны (рис. 4). Зона поддвига характеризуется очень слабой сейсмической активностью: за период детальных инструментальных наблюдений (1962-2008 гг.) здесь зарегистрировано только 204 землетрясения с  $K_s \geq 10$ , в том числе два землетрясения с  $K_s = 12$  вблизи зоны изгиба и одно землетрясение с  $K_s = 13$  вблизи границы с Ходуткинским сегментом (рис. 1, сегмент 2). Активность же зоны изгиба была довольно высокой: в период с 1962 по 1967 гг. здесь произошло 5 землетрясений с  $K_s = 13.0-14.0$ . В этот же период на продолжении сегмента, в зоне Беньофа на глубинах 130-208 км зарегистрировано одно землетрясение с  $K_s = 13.0$  и два землетрясения с  $K_s = 14.1$ . Кроме того, в 1966-1967 гг. произошло также пять землетрясений с  $K_s = 12.1-12.8$ . В 1973 г. в зоне изгиба зарегистрировано два довольно сильных землетрясения с  $K_s = 14.2, 14.3$ . После некоторого ослабления сейсмической активности в июле 1992 г. произошло два землетрясения с  $K_s = 13.7$  и 13.0, а в июне 1993 г. в зоне изгиба на глубине 40 км произошло сильное землетрясение с  $K_s = 15.0$  ( $M = 7.4, M_w = 7.5$ ), которое сопровождалось афтершоками на границе с Ходуткинским сегментом, а также в зонах изгиба и Беньофа. Следует подчеркнуть, что в каталоге (Новый ..., 1977) почти на этом же месте на глубине 60 км в 1737 г. было отмечено сильнейшее землетрясение с  $M = 8.3, M_w = 9.2$ , которое сопровождалось гигантским цунами (Новый..., 1977). По более позднему Каталогу цунами на Камчатке (1987) эпицентр этого землетрясения располагается в Южно-Авачинском сегменте и такое местоположение эпицентра нам представляется более верным.



**Рис. 4.** Карта эпицентров землетрясений южных сегментов Камчатской зоны субдукции: 1 – разломы (сдвиги), разделяющие сегменты; 2 – взбросы и надвиги: а – установленные, б – предполагаемые; 3 – ось глубоководного желоба, 4 – зона изгиба Тихоокеанской плиты. Номера в кружочках соответствуют номерам сегментов на карте сейсмотектонического районирования (рис. 1). Батиметрическая карта (Селиверстов, 1998). На врезке Т – Тихоокеанская плита, СА – Северо-Американская плита, Б – Берингийский блок, О – Охотская плита.

После сильного землетрясения 1993 г. в зоне изгиба в 1993 г. зарегистрировано еще три землетрясения с  $K_s = 13.1-13.5$ , в 1999 г. – два землетрясения с  $K_s = 13.1-13.8$ , в 2003 г. – два землетрясения с  $K_s = 13.0-13.2$ , в 2006 г. – землетрясение с  $K_s = 13.8$  и в 2008 г. – землетрясение с  $K_s = 14.0$ . Всего в зоне изгиба и на ее продолжении в зоне Беньофа зарегистрировано около 700 землетрясений с  $K_s \geq 10$ , 26 землетрясений с  $K_s \geq 13$ , семь землетрясений с  $K_s \geq 14$  и одно сильное землетрясение с  $K_s = 15$  ( $M = 7.4$ ), которое сопровождалось афтершоками.

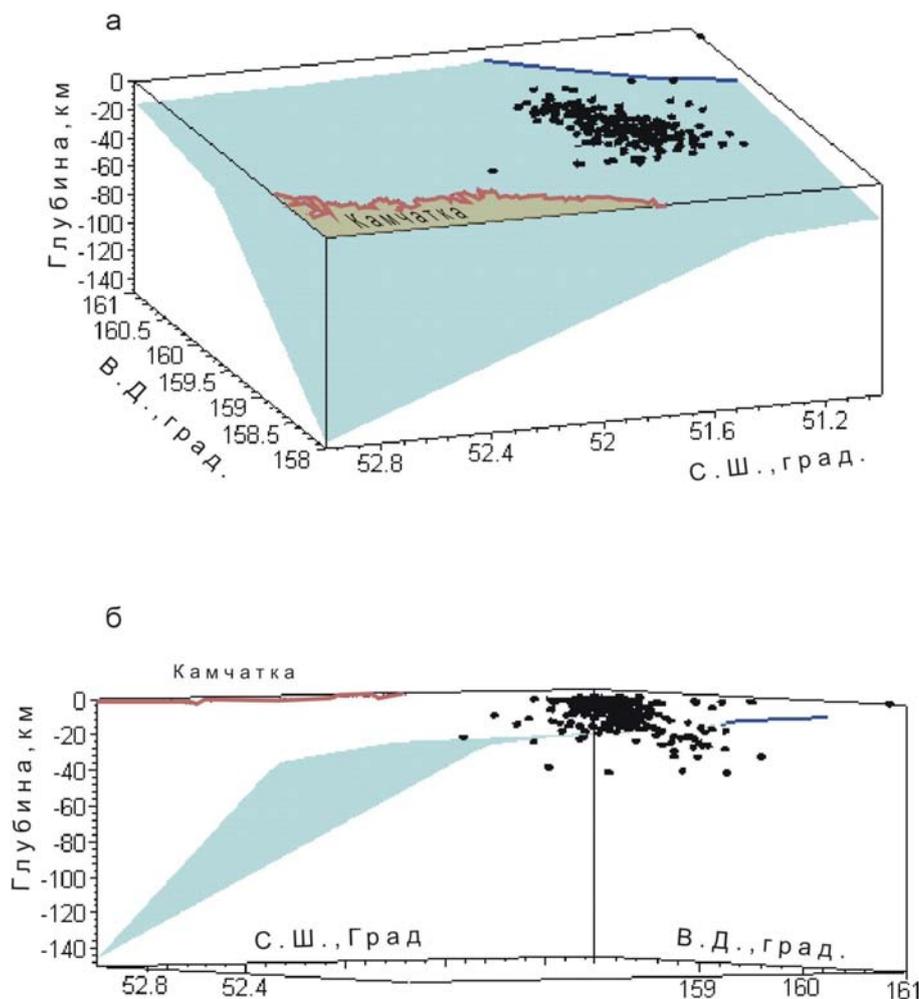
Итак, за период детальных наблюдений основные сейсмические события в сегменте были приурочены к зоне изгиба.

Что касается сейсмической активности зоны поддвига Южно-Камчатского сегмента, то, основываясь на отсутствии зарегистрированных сильных землетрясений и тектонических террас или возвышенностей, мы полагаем, что эта зона не представляет серьезной опасности, так как

имеет низкий коэффициент сейсмического сцепления. На поверхности Тихоокеанской плиты залегает мощная толща осадков, которая, по-видимому, действует как смазка, и поэтому разрядка сейсмической энергии происходит здесь за счет крипового скольжения и слабых землетрясений.

**Ходуткинский сегмент** (на рис. 1, 4, сегмент 2), в отличие от Южно-Камчатского, проявлял сейсмическую активность как в зоне поддвига, так и в зоне изгиба. Уже в марте-апреле 1962 г., в первый год детальных наблюдений, в зоне поддвига был зарегистрирован рой землетрясений в первом от желоба надвиговом блоке<sup>1</sup> и на границе с Южно-Авачинским сегментом (рис. 1, сегмент 3). Самое сильное землетрясение этого роя имело  $K_s=13.1$ , остальные землетрясения роя не превышали 12-го энергетического класса.

<sup>1</sup> Здесь и далее нумерация надвиговых блоков возрастает в сторону от желоба, т. е. по направлению субдукции Тихоокеанской плиты.



**Рис. 5.** Локализация гипоцентров роя землетрясений (июнь – июль 1996 г.) при двух положениях вращаемой блок-диаграммы. Цифрами обозначены координаты блок-диаграммы и глубина. Маркирована кровля поддвигаемой Тихоокеанской плиты: *а* – аксонометрическая проекция; *б* – соответствует разрезу вкрест простирания дуги.

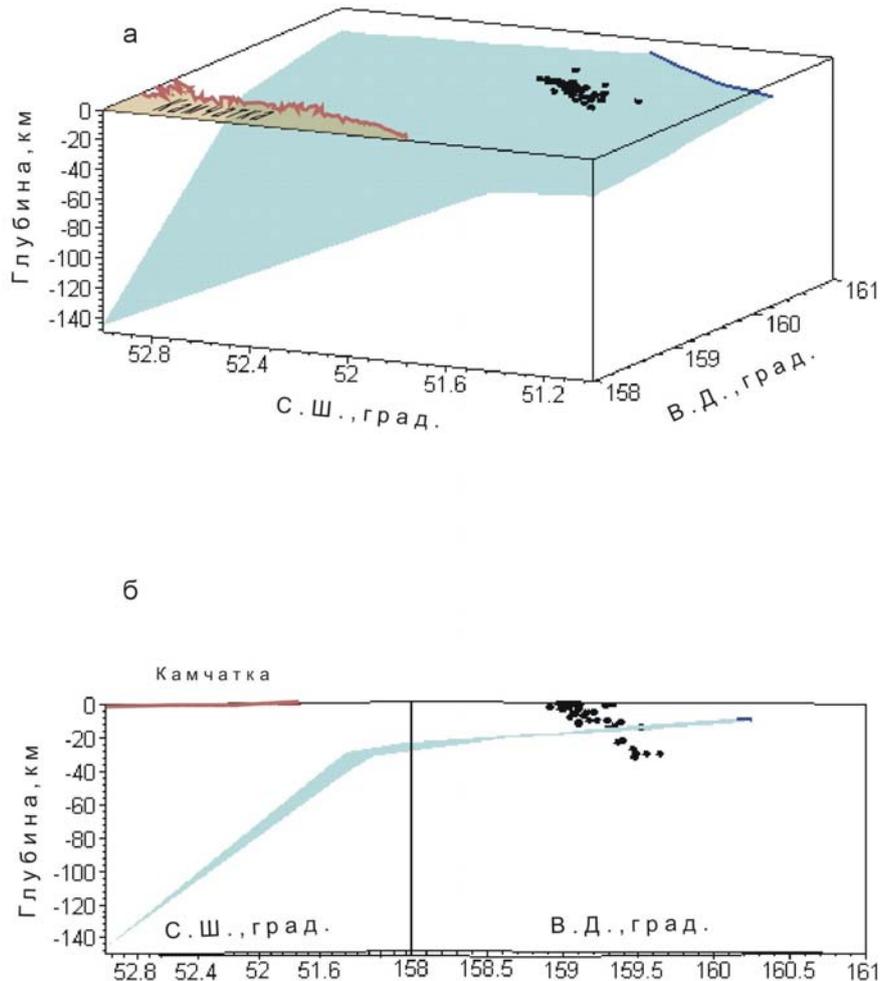
В 1965-1966 гг. отмечалось некоторое оживление 2-го надвигового блока, причем в апреле 1965 г. отмечался небольшой рой землетрясений на границе с Южно-Авачинским сегментом, а в октябре 1966 г. — на границе с Южно-Камчатским сегментом. Энергетические классы этих землетрясений не превышали 12.6. В июне 1968 г. и в январе 1974 г. отмечались рои землетрясений с  $K_s < 12$  на границе с Южно-Авачинским сегментом. В феврале и мае 1976 г. отмечались рои землетрясений, локализованные в пределах вторых надвиговых блоков Ходуткинского и Южно-Авачинского сегментов. Затем, после некоторого затишья, в феврале 1983 г. возобновились подвижки по 2-му надвиговому блоку рассматриваемого сегмента. До ноября 1993 г. весь сегмент проявлял очень слабую сейсмическую активность. В ноябре 1993 г., через 5 месяцев после сильного землетрясения в соседнем Южно-Камчатском сегменте, в зоне изгиба Ходуткинского сегмента также произошло довольно сильное землетрясение ( $M = 7.1$ ,  $M_w = 7.0$ ). Это землетрясение в течение почти месяца также сопровождалось афтершоками, эпицентры которых находились примерно в том же месте, что и главное событие, а наклон «облака» гипоцентров соответствовал зоне Беньофа. В июне-июле 1996 г. был зарегистрирован мощный рой землетрясений, охвативший вторые надвиговые блоки Ходуткинского и Южно-Авачинского сегментов (рис. 5). Основной толчок роя был довольно сильным ( $K_s = 13.9$ ). Кроме того, в этом рое зафиксировано восемь землетрясений с  $K_s = 12.2-13.5$ , остальные многочисленные землетрясения были более слабыми. В поперечном разрезе и по последовательности проявления гипоцентров землетрясений проявился взбросо-надвиговый характер роя землетрясений, хотя и не очень отчетливо, так как подвижки проходили, по-видимому, одновременно в плоскости взброса и плоскости поддвига. В последующие годы, вплоть до 2008 г., Ходуткинский сегмент проявлял слабую активность, но в 2007 г. произошло землетрясение с  $K_s = 13.5$  в зоне Беньофа на глубине 128 км.

В целом в пределах Ходуткинского сегмента за период детальных наблюдений зарегистрировано 506 землетрясений с  $K_s \geq 10$ , в том числе 59 землетрясений с  $K_s \geq 12$ , 15 землетрясений с  $K_s \geq 13$  и одно землетрясение с  $K_s = 14.6$ . В пределах сегмента гипоцентры землетрясений распределены неравномерно. Более половины землетрясений с  $K_s \geq 12$ , в том числе 14 землетрясений с  $K_s = 13.1-13.9$ , приходятся на зону поддвига. Судя по глубине гипоцентров, большинство из них, по-видимому, локализовано в взбросо-надвиговых блоках. Во времени также наблюдается неравномерность распределения

землетрясений. Так, в период с 1962 по 1992 г. почти все наиболее сильные землетрясения ( $K_s \geq 12$ ) происходили в зоне поддвига, за счет роевых землетрясений взбросового типа. Ни одно такое землетрясение не было зафиксировано в зоне резкого изгиба Тихоокеанской плиты и только 5 землетрясений с  $K_s = 12.6-13.4$  в зоне Беньофа. В 1992-1993 г. произошло оживление зоны изгиба, где произошло три довольно сильных землетрясения — два с  $K_s 13.4$  и  $13.7$  и одно с  $K_s = 14.6$  ( $M = 7.1$ ,  $M_w = 7.0$ ). Основное отличие Ходуткинского сегмента от Южно-Камчатского заключается в проявлении роевых землетрясений в зоне поддвига, эпицентры которых приурочены к тектоническим возвышенностям, выраженным в рельефе дна. Гипоцентры землетрясений фиксируют, по-видимому, взбросо-надвиговые блоки в пределах Охотской плиты (рис. 5). Вторым отличием является более слабая сейсмическая активность в зоне резкого изгиба Тихоокеанской плиты. До периода детальных наблюдений в этом сегменте не было зарегистрировано ни одного землетрясения с  $M \geq 7$ . Предварительно можно сделать вывод о том, что этот сегмент не представляет серьезной опасности проявления сильных землетрясений с магнитудой 7.5 и более. По-видимому, разрядка сейсмической энергии происходит постоянно в зоне поддвига за счет землетрясений во взбросо-надвиговых блоках, а в зоне изгиба произошла разрядка энергии в результате землетрясения в ноябре 1993 г. ( $M = 7.1$ ,  $M_w = 7.0$ ).

В Южно-Авачинском сегменте (рис. 1, 4, сегмент 3) за период инструментальных наблюдений отмечалось помимо обычной фоновой сейсмичности и несколько повышенной сейсмичности на изгибе Тихоокеанской плиты, в отдельные годы несколько роев землетрясений. В этом отношении Южно-Авачинский сегмент похож на Ходуткинский. Так, в 1962 г. зарегистрирован уже упоминавшийся выше рой землетрясений на границе с Ходуткинский сегментом. За период с 1962 по 1976 гг. в зоне поддвига зафиксировано 15 землетрясений с  $K_s = 12-12.9$  и два землетрясения с  $K_s = 13.1$  и  $13.6$ . Часть из них, судя по глубинам гипоцентров, была, по-видимому, локализована непосредственно в зоне взаимодействия плит, а часть — в пределах надвиговых блоков. В этот же период, в 1968 г. произошло одно землетрясение ( $K_s = 12.4$ ) в зоне Беньофа на глубине 160 км и одно землетрясение ( $K_s = 12.6$ ) в зоне изгиба.

В феврале 1976 г. был проявлен отмеченный выше сильный рой землетрясений на границе с Ходуткинский сегментом. По положению гипоцентров видна надвиговая природа этого роя. Рую предшествовало довольно сильное землетрясение ( $K_s = 13.6$ ), произошедшее в



**Рис. 6.** Локализация гипоцентров роя землетрясений (февраль 1983 г.) во втором взбросо-надвиговом блоке Южно-Авачинского сегмента при двух положениях вращаемой блок-диаграммы (таких же, как на рис. 5).

январе 1976 г., по-видимому, непосредственно в зоне поддвига (глубина 40 км). В марте 1983 г. на месте локализации роя 1976 г. был отмечен более слабый рой, но в этом рое отчетливо проявилась надвиговая природа, причем угол падения плоскости сместителя составляет  $35-40^\circ$  (рис. 6). Самый сильный рой (более 330 землетрясений), проявленный во втором надвиговом блоке, наблюдался в июне-июле и частично в августе 1996 г. (рис. 5). Очаговая зона роя охватила два соседних сегмента – Южно-Авачинский и несколько слабее в Ходуткинский. В марте 1999 г. в зоне поддвига, на глубине 7 км произошло довольно сильное землетрясение с  $K_s = 14.3$  ( $M = 7.1$ ,  $M_w = 6.9$ ) (рис. 4) с последующими афтершоками, «облако» которых также соответствовало взбросу.

В интервале 1976-1999 гг. относительно сильные землетрясения с  $K_s \geq 12$  были зарегистрированы также в зоне изгиба, причем два из них, в январе и феврале 1994 г., имели  $K_s = 13.1$  и  $13.2$ , соответственно. После сильного землетрясения 1999 г. произошло три землетрясения в зоне изгиба с  $K_s = 12.1-13.1$ , и два землетрясения с  $K_s = 12.2, 12.8$  в зоне поддвига.

Всего в пределах Южно-Авачинского сегмента за период детальных наблюдений произошло более 500 землетрясений с  $K_s \geq 10$ , в том числе 45 землетрясений с  $K_s \geq 12$ , девять землетрясений с  $K_s \geq 13$  и два землетрясения с  $K_s = 14.0$  и  $14.3$ . Наибольшую активность проявляла зона поддвига, где зарегистрировано 27 землетрясений с  $K_s \geq 12$ , в том числе сильное землетрясение ( $M = 7.1$ ), сопровождавшееся афтершоками. В зоне изгиба зафиксировано 10 землетрясений с  $K_s \geq 12$ , включая три землетрясения с  $K_s = 13.1-13.2$ , а в зоне Беньюфа – семь землетрясений с  $K_s > 12$ , одно из которых имело  $K_s = 14$ .

До периода детальных наблюдений в этом сегменте произошло несколько сильных землетрясений. В 1737 г., если верить каталогу (Каталог ..., 1987), произошло одно из самых сильных землетрясений ( $M = 8.3$ ,  $M_w = 9.2$ ), которое сопровождалось цунами с максимальной высотой заплеска 30 м. Судя по координатам, главный толчок этого землетрясения был приурочен к подножью горы в средней части зоны поддвига этого сегмента. В зоне изгиба Южно-Авачинского сегмента 25 июня 1904 г. в

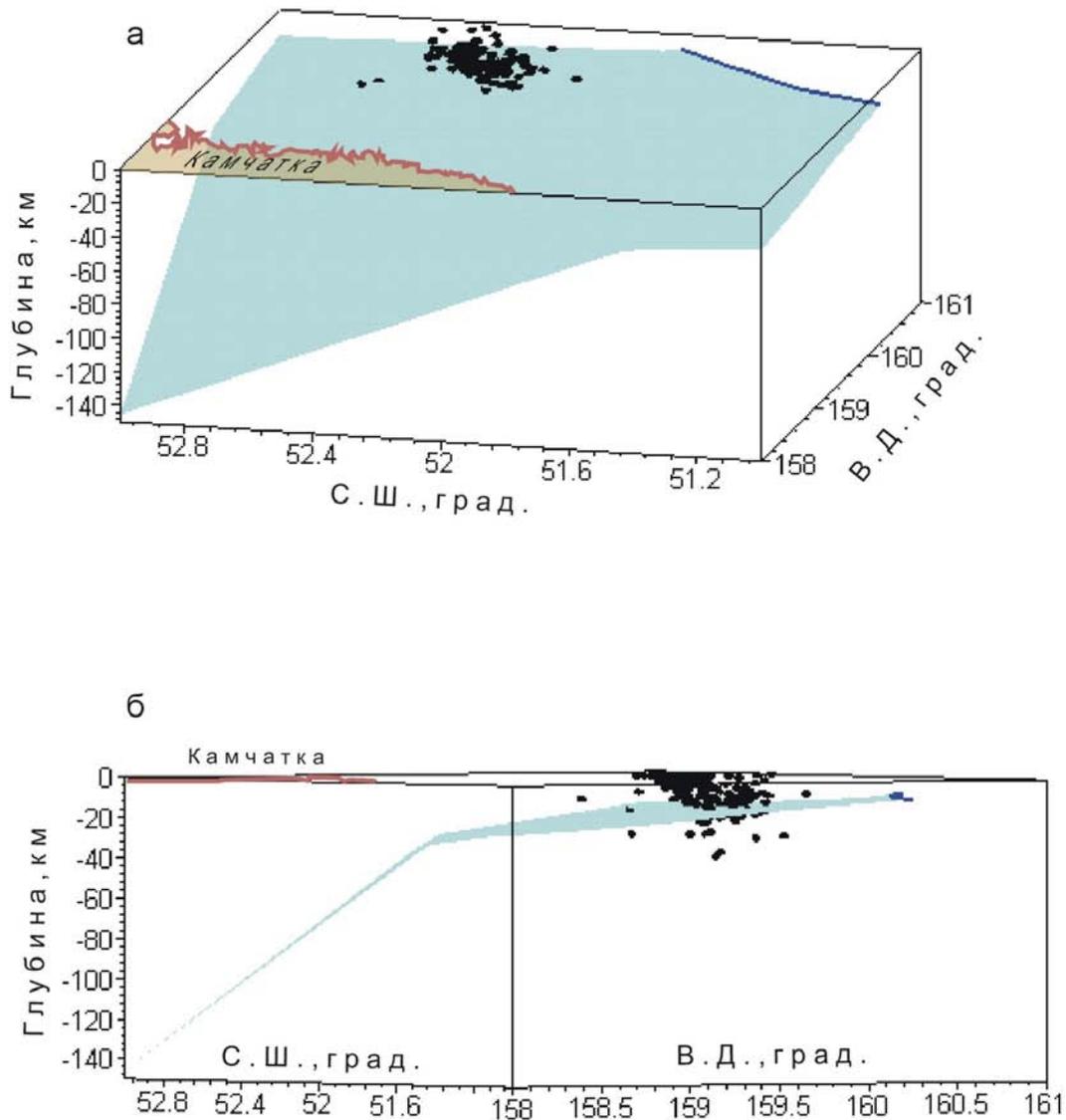
одном и том же месте с интервалом 7 часов было зарегистрировано два сильных землетрясения с  $M = 7.7$  ( $M_w = 7.4$  и  $7.5$ , соответственно). Кроме того, в каталоге А.А. Гусева и Л.С. Шумилиной (2004) приводятся еще два землетрясения с теми же координатами 27 июня 1904 г. ( $M_w = 7.3$ ) и 24 июля 1904 г. ( $M_w = 7.0$ ). Еще одно землетрясение с  $M = 7.2$  в этом же месте произошло в октябре 1946 г.

**Северо-Авачинский сегмент** (рис. 4, сегмент 4) является одним из наиболее активных. За период детальных наблюдений сейсмичность была проявлена в зонах поддвига, изгиба, Беньофа, а также на Авачинском разломе (сдвиге), пограничном с Южно-Авачинским сегментом, и на Шипунском разломе, пограничном с Южно-Шипунским сегментом. В зоне поддвига наряду с обычной фоновой сейсмичностью зарегистрировано несколько роев землетрясений. В декабре 1965 г. зафиксирован рой землетрясений, приуроченный к подводной возвышенности – тектоническому поднятию второго надвигового блока. Этот рой захватил также Шипунский разлом. Гипоцентры двух наиболее сильных землетрясений из этого роя с  $K_s = 12.0$  и  $12.6$  располагались на глубине 5 и 10 км соответственно, т. е. в пределах Охотской плиты.

В зоне изгиба в 1962-1970 гг. постоянно регистрировались землетрясения энергетического класса менее 12, а в ноябре 1971 г. в этой зоне на глубине 110 км произошло сильное землетрясение с  $K_s = 15.9$  ( $M = 7.3$ ,  $M_w = 7.5$ ), которое сопровождалось серией афтершоков. Эпицентры афтершоков располагались примерно на одном и том же месте, а «облако» гипоцентров соответствовало наклону зоны Беньофа и протягивалось до глубины 200 км. До 1971 г. в зоне Беньофа были зафиксированы более слабые землетрясения в 1962 г. ( $K_s = 12.4$ ), в 1969 г. ( $K_s = 12.5$ ) и в 1970 г. ( $K_s = 12.7$ ). В следующие два года (1972-1973) в зоне изгиба также была проявлена наибольшая сейсмическая активность вблизи Шипунского полуострова, т. е. в месте локализации землетрясения 1971 г.

В октябре 1974 г. произошел рой землетрясений в пределах второго надвигового блока. Два наиболее сильных землетрясения этого роя ( $K_s = 12.3$  и  $12.0$ ) были зарегистрированы на глубине 20 км. «Облако» гипоцентров роя наклонено на юго-восток. В апреле 1975 г. на этом же месте был зафиксирован еще более мощный рой, охватывающий не только второй надвиговый блок, но и Авачинский сдвиг. В этом рое было три землетрясения с  $K_s = 13.4-13.7$  и три землетрясения с  $K_s = 12.5-12.8$ . В 1975 и 1980 гг. повышенную сейсмическую активность проявляла зона изгиба вблизи Шипунского полуострова и Шипунский сдвиг.

Следующий мощный рой землетрясений (январь 1980 г.) охватил не только второй, но и первый надвиговые блоки. В нем зафиксировано 13 землетрясений с  $K_s \geq 12$ , причем у пяти из них  $K_s = 13.1-13.7$ . «Облако» гипоцентров роя также было наклонено на юго-восток (рис. 7). Небольшой рой землетрясений на этом же месте произошел в июне-июле 1985 г. Наряду с этим роем, на Шипунском сдвиге (граница между Северо-Авачинским и Южно-Шипунским сегментами) произошло несколько землетрясений, три из которых с  $K_s = 12.1-12.6$ , а также несколько землетрясений на Авачинском сдвиге. Следующий рой, произошедший в августе-сентябре 1994 г., был приурочен ко второму надвиговому блоку на границе с Шипунским сдвигом. «Облако» гипоцентров роя имеет наклон на юго-восток под углом около  $40^\circ$ . Интересно, что следующий рой, зафиксированный в октябре 2001 г., частично перекрывает рой 1994 г. и надстраивает его в северо-западном направлении. Небольшой рой землетрясений был отмечен и в 2002 г. в первом надвиговом блоке. Практически одновременно с ним серия землетрясений была зафиксирована и на Шипунском сдвиге, и в зоне изгиба вблизи Шипунского полуострова. Рои землетрясений примерно в том же месте продолжались и в 2003 г. Почти одновременно серия землетрясений, выстраивающихся в линию, обозначила Шипунский разлом. Всего в зоне поддвига Северо-Авачинского сегмента в период 1962-2008 гг. зарегистрировано девять роев землетрясений, большинство которых, по-видимому, имело взбросо-надвиговую природу. Во всяком случае, «облака» гипоцентров большинства этих роев имеют наклон в юго-восточном направлении, противоположном направлению поддвига Тихоокеанской плиты. Наряду с роевыми землетрясениями часто фиксировались землетрясения, выстраивающиеся в линию и фиксирующие движения на Авачинском и Шипунском разломах. Наиболее сейсмически активным был Шипунский разлом почти на всем его протяжении, но большинство землетрясений было приурочено к северо-западной его части. Часто границы роевых очаговых зон совпадают с пограничными разломами. Так, северо-восточной границей роя 1994 г. является Шипунский разлом, а границей мощного роя 1996 г., зарегистрированного в Южно-Авачинском сегменте, является Авачинский разлом. В 1998 и 2003 гг. цепочки землетрясений зафиксированы практически одновременно на Шипунском и Авачинском разломах. Все это свидетельствует о тектонических перемещениях Северо-Авачинского сегмента по Авачинскому и Шипунскому сдвигам. Сейсмическое сцепление между Северо-Авачинским и Южно-Шипунским сегментами, по-видимому,



**Рис. 7.** Локализация гипоцентров роя землетрясений (январь – февраль 1980 г.) во втором надвиговом блоке Северо-Авачинского сегмента при двух положениях вращаемой блок-диаграммы (таких же, как на рис. 5).

является более сильным, чем между Северо-Авачинским и Южно-Авачинским сегментами, так как по Шипунскому сдвигу землетрясения происходили чаще и имели более высокий энергетический класс.

Высокая сейсмическая активность (семь землетрясений с магнитудой более 7) наблюдалась в Северо-Авачинском сегменте в XIX и XX вв. В 1841 г. в 80 км от Петропавловска-Камчатского произошло очень сильное ( $M = 8.4$ ,  $M_w = 9.0$ ) цунамигенерирующее землетрясение. Тектонически оно было приурочено к зоне изгиба, а гипоцентр его находился на глубине около 50 км. В 1866 г. в том же самом месте, на глубине  $\sim 40$  км произошло землетрясение с  $M = 7.0$  ( $M_w = 7.0$ ). Это землетрясение также было цунамигенерирующим. Кроме того, в каталоге (Новый..., 1977) содержатся сведения об очень сильном землетрясении, произошедшем

23 ноября 1899 г. ( $M = 7.9$ ,  $M_w = 7.6$ ) примерно в 80 км от Петропавловска-Камчатского. Однако на основании известных и дополнительно найденных источников (Прибылова и др., 2006) показали, что это землетрясение произошло не в Камчатской зоне субдукции, а в Тихом океане, на расстоянии порядка  $30^\circ$  к юго-востоку от Японских островов.

Непосредственно в зоне Беньюфа на глубине 220 км в 1922 г. было зарегистрировано землетрясение ( $M = 7.4$ ,  $M_w = 7.3$ ). В 1923 г. в зоне поддвига на глубине 25 км было отмечено землетрясение ( $M = 7.0$ ). Гипоцентр его был приурочен либо непосредственно к зоне поддвига вблизи Шипунского разлома, либо ко второму надвиговому блоку. В 1952 г. произошло два сильных землетрясения. Мощное катастрофическое цунамигенерирующее землетрясение ( $M = 8.5$ ,  $M_w = 9.0$ ), разрушившее все прибрежные поселения, включая

Усть-Камчатск и Северо-Курильск, произошло в ноябре 1952 г. Гипоцентр его, в соответствии с моделью формирования сегментов и надвиговых блоков (Авдейко, Палуева, 2008), располагался либо в пределах первого надвигового блока, либо непосредственно в пределах плоскости поддвига. Через 25 дней уже в зоне изгиба на глубине 40 км было зарегистрировано еще одно сильное землетрясение ( $M = 7.3$ ).

Уже в период детальных наблюдений было зарегистрировано два довольно сильных землетрясения. Одно из них, произошедшее в ноябре 1971 г. ( $M = 7.3$ ,  $M_w = 7.5$ , глубина 110 км), было локализовано в зоне Беньофа, вблизи зоны изгиба. Второе произошедшее в марте 1992 г. ( $M = 7.1$ ,  $M_w = 6.8$ , глубина 20 км), по-видимому, было приурочено ко второму надвиговому блоку вблизи границы с Южно-Шипунским сегментом.

Таким образом, наибольшую опасность представляет зона изгиба, где произошло четыре сильных землетрясения в непосредственной близости от Петропавловска-Камчатского. Несомненно, серьезную опасность могут представлять второй и первый надвиговые блоки. Правда, в первом блоке после цунамигенерирующего землетрясения 1952 г. идет накопление сейсмической энергии и вряд ли произойдет ее разрядка в течение ближайших 50 лет. Землетрясения, приуроченные непосредственно к зоне Беньофа, вряд ли могут представлять серьезную опасность, так как их гипоцентры расположены на большой глубине, а магнитуды обычно не превышают 7.5.

**Южно-Шипунский сегмент** (на рис. 4, 8, сегмент 5) граничит с Северо-Авачинским сегментом по Шипунскому разлому, а граница с Северо-Шипунским сегментом определяется резким спадом сейсмической активности. В связи с этим, несмотря на его небольшую протяженность (около 40 км), он выделен в отдельный сегмент. По характеру сейсмической активности он ближе к Северо-Авачинскому сегменту, так как Северо-Шипунский сегмент в настоящее время представляет собой сейсмическую брешь.

Наибольшую сейсмическую активность Южно-Шипунский сегмент проявлял в зоне изгиба. За первые 11 лет детальных наблюдений с 1962 по 1973 гг. землетрясения с  $K_s > 12$  происходили только в зоне Беньофа и вблизи нее. По Шипунскому разлому и в пределах зоны поддвига отмечались лишь слабые землетрясения. В июне 1973 г. в пределах второго надвигового блока произошел небольшой рой землетрясений. Самое сильное землетрясение роя имело  $K_s = 13.0$ , остальные меньше 12. Более высокая сейсмическая активность в зоне изгиба проявлялась вплоть до 1983 г., однако энергетический

класс этих землетрясений не превышал 13. В октябре 1987 г. после небольшого затишья в зоне изгиба произошло довольно сильное землетрясение с  $K_s = 14.1$ . В сентябре - декабре 1990 г. снова во 2-м надвиговом блоке зарегистрирован слабый рой землетрясений. Наиболее сильные землетрясения этого роя с  $K_s = 12.5-13.5$  отмечены в декабре. Самое сильное землетрясение ( $K_s = 14.6$ ,  $M = 7.1$ ,  $M_w = 6.8$ ) в пределах этого сегмента произошло 2 марта 1992 г. в зоне изгиба на глубине 20 км. Землетрясение сопровождалось афтершоками, которые выстраивались в соответствии с наклоном зоны Беньофа вплоть до глубины 50 км, а более редкие афтершоки простирались до глубины около 100 км. В дальнейшем, вплоть до 2001 г., режим сейсмичности оставался примерно таким же, более активной была зона изгиба, а зона поддвига проявляла слабую сейсмическую активность. В октябре 2001 г. зафиксирован рой землетрясений в пределах второго надвигового блока. Два землетрясения начальной фазы этого роя были довольно сильными. Первое из них ( $K_s = 13.8$ ), произошедшее на глубине 31 км, по-видимому, приурочено к зоне подвига, а второе, более мощное, ( $K_s = 14.1$ ), очевидно, произошло в нависающей Охотской плите (глубина 25 км). Большинство гипоцентров землетрясений этого роя располагаются также в пределах Охотской плиты. В последующие годы, вплоть до 2009 г., большинство землетрясений было локализовано в зоне изгиба, а меньшая их часть располагалась в пределах Шипунского разлома, второго надвигового блока или вблизи него.

В целом, в период детальных наблюдений наибольшая сейсмическая активность была характерна для зоны изгиба, где в 1992 г. произошло сильное землетрясение ( $M = 7.1$ ), сопровождавшееся афтершоками, одно землетрясение с  $K_s = 14.1$  и пять с  $K_s = 13.0-13.3$ . Несколько меньшая сейсмическая активность наблюдалась в пределах 2-го надвигового блока, где в 1973 и 1990 гг. произошло два слабых роя землетрясений и один довольно сильный, в котором энергетический класс землетрясений самого мощного толчка достигал 14.1. Кроме того, в пределах этого блока было зарегистрировано пять землетрясений с  $K_s = 13.0-13.8$ . Слабые, но довольно постоянные землетрясения происходили на разломе между Северо-Авачинским и Южно-Шипунским сегментами.

**Северо-Шипунский сегмент** (рис. 8, сегмент 7) за весь период инструментальных наблюдений проявлял довольно слабую сейсмическую активность. Относительно активной была только зона изгиба, в которой зарегистрированы 24 землетрясения с  $K_s = 12$  и более, в том числе пять землетрясений с  $K_s = 13.0-13.5$ . Непо-

средственно в пределах сегмента происходили лишь немногочисленные слабые землетрясения. Зарегистрировано только одно землетрясение с  $K_s = 13.5$  на глубине 59 км, по-видимому, в пределах субдуцируемой Тихоокеанской плиты ниже контакта с нависающей Охотской плитой. Кроме того, на продолжении этого сегмента в 1996 г. отмечался рой землетрясений под Карымским вулканом (рис. 8).

В целом Северо-Шипунский сегмент представляет собой сейсмическую брешь после очень сильного цунамигенерирующего землетрясения ( $M = 8.5$ ), произошедшего в 1923 г.

**Южно-Кроноцкий, Центрально-Кроноцкий и Северо-Кроноцкий сегменты** мы рассматриваем

вместе, поскольку они вошли в очаговую зону сильного Кроноцкого землетрясения 1997 г. (рис. 2). До этого землетрясения **Южно-Кроноцкий сегмент** наибольшую активность проявлял в зоне изгиба, где землетрясения происходили довольно постоянно. Здесь же было зарегистрировано девять относительно сильных землетрясений с  $K_s = 13.1-13.9$ . Несколько меньшую активность проявлял второй надвиговый блок, в пределах которого в июне 1973 г. был зафиксирован рой землетрясений, три землетрясения которого имели  $K_s = 13.1-13.5$ . Кроме того, в пределах этого блока были отмечены слабые рои землетрясений в 1964, 1986 и 1989 гг. с энергетическим классом менее 12.5. Слабые землетрясения периодически-

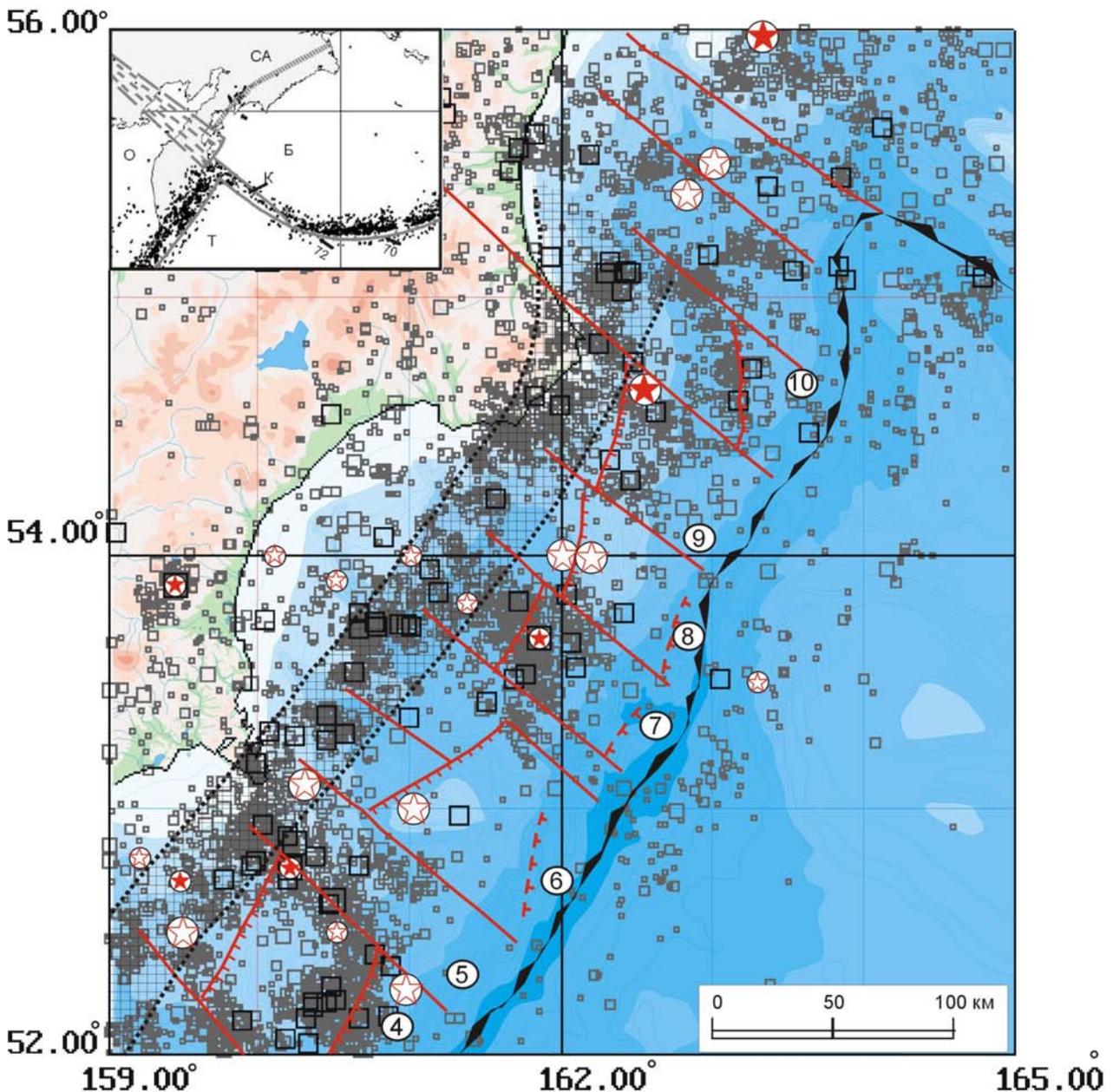


Рис. 8. Карта эпицентров землетрясений северных сегментов Камчатской зоны субдукции. Условные обозначения см. на рис. 4.

ски происходили и на границе с Центральнo-Кроноцким сегментом. До периода детальных наблюдений сильные землетрясения в пределах сегмента не зарегистрированы.

**Центральнo-Кроноцкий сегмент** до Кроноцкого землетрясения 1997 г. ( $M = 7.9$ ,  $M_w = 7.9$ ) проявлял сравнительно слабую сейсмическую активность. В пределах зоны поддвига было проявлено лишь несколько землетрясений, в основном, 10-го, реже 11-го энергетических классов. В зоне изгиба было проявлено 15 землетрясений с  $K_s = 12.0-12.9$  и отсутствовали землетрясения более высокого энергетического класса. В зоне Беньофа было зарегистрировано несколько землетрясений с глубиной гипоцентров более 80 км. Одно имело  $K_s = 13.7$ , три -  $K_s = 12.7-12.8$ .

До периода детальных наблюдений в районе 2-го надвигового блока в одном и том же месте на глубине 25 км было зарегистрировано два сильных землетрясения в декабре 1790 г. ( $M = 7.5$ ) и в августе 1792 г. ( $M = 8.4$ ). Первое, по-видимому, можно считать форшоком более мощного цунамигенирующего землетрясения 1792 г.

В пределах зоны изгиба **Северо-Кроноцкого сегмента** сейсмическая активность проявлялась в виде сравнительно частых, но довольно слабых землетрясений: одно с  $K_s = 13.0$ , остальные с  $K_s < 12.5$ . Следует отметить, что зона изгиба Северо-Кроноцкого сегмента является более широкой по сравнению с другими сегментами за счет выполаживания субдуцируемой Тихоокеанской плиты, связанного с поддвигом поднятия Обручева на северо-западном окончании Гавайско-Императорского хребта (Авдейко и др., 1998; Федотов и др., 1985).

Непосредственно в сегменте землетрясения были приурочены в основном ко 2-му надвиговому блоку, в пределах которого произошло Кроноцкое землетрясение 1997 г. Эпицентры трех землетрясений, произошедших в 1972 г. ( $K_s = 12.2$ ), 1973 г. ( $K_s = 13.2$ ) и 1979 г. ( $K_s = 12.8$ ), располагались непосредственно вблизи эпицентра главного толчка землетрясения 1997 г. После этого землетрясения вплоть до главного толчка землетрясения 1997 г. район 2-го надвигового блока проявлял слабую сейсмическую активность.

Сильное Кроноцкое землетрясение 1997 г. ( $K_s = 15.5$ ,  $M = 7.9$ ,  $M_w = 7.9$ ) предварялось серией форшоков, произошедших в Усть-Камчатском сегменте вблизи границы с Северо-Кроноцким сегментом с 29 ноября по 5 декабря 1997 г., и сопровождалось серией афтершоков в течение всего 1998 г. (рис. 2). Уже через час после главного толчка вблизи зоны изгиба Южно-Кроноцкого сегмента произошло несколько довольно сильных землетрясений с  $K_s = 12.2-13.9$ . Этот же сегмент был наиболее активным в течение всего

периода афтершоковых проявлений. Через восемь часов после главного толчка в районе второго надвигового блока был зарегистрирован самый мощный афтершок ( $K_s = 14.2$ ). В этом же сегменте произошло еще 24 афтершока с  $K_s = 12$  и более, в том числе три землетрясения с  $K_s = 13.0-13.2$ .

Меньшую афтершоковую активность проявил Центральнo-Кроноцкий сегмент. Афтершоки были проявлены в зоне изгиба, где зарегистрированы в основном слабые землетрясения ( $K_s < 12$ ), а также вблизи границы с Южно-Кроноцким сегментом и в зоне поддвига в районе первого надвигового блока, где произошло три довольно сильных афтершока ( $K_s = 13.1-13.6$ ). Средний участок Центральнo-Кроноцкого сегмента, соответствующий 2-му надвиговому блоку, в период проявления афтершоковой активности остался практически асейсмичным, т.е. представляет собой зону «сейсмического молчания» (Авдейко и др., 1998). Как было отмечено выше, в этом месте в 1790 и 1792 гг. было зарегистрировано два сильных землетрясения ( $M = 7.5$  и  $8.4$ , соответственно). Очевидно, сейсмическое сцепление между плитами здесь настолько сильное, что Центральнo-Кроноцкий сегмент не был вовлечен в движение вместе с Северо-Кроноцким и Южно-Кроноцким сегментами. Очевидно, в Центральнo-Кроноцком сегменте идет накопление напряжений и в будущем в этом месте следует ожидать сильное, возможно, цунамигенирующее землетрясение.

В целом афтершоковая активность Кроноцкого землетрясения наиболее интенсивно, как по числу, так и по энергии землетрясений, была проявлена в Южно-Кроноцком сегменте, а наиболее слабо – в Северо-Кроноцком сегменте, т.е. в сегменте, где произошел главный толчок. После афтершоков Кроноцкого землетрясения произошел спад сейсмической активности. Можно лишь отметить, что в Южно-Кроноцком сегменте в 2002 г. было зарегистрировано землетрясение ( $K_s = 13.4$ ) на границе с Северо-Шипунским сегментом, два землетрясения в зоне изгиба в 2002 г. ( $K_s = 13.5$ ) и в 2004 г. ( $K_s = 13.1$ ), а также одно землетрясение ( $K_s = 12.1$ ) в районе 1-го надвигового блока.

В настоящее время наибольшую сейсмическую опасность, по-видимому, представляет Центральнo-Кроноцкий сегмент, где в пределах второго надвигового блока (зона «сейсмического молчания» Кроноцкого землетрясения) идет накопление сейсмической энергии после цунамигенирующего землетрясения 1792 г.

**Усть-Камчатский сегмент** расположен в зоне Камчатско-Алеутского сочленения, в связи с чем

зона изгиба здесь в сейсмическом отношении практически не проявлена. В течение периода детальных наблюдений наибольшую сейсмическую активность проявляла зона Беньофа, где зафиксировано два наиболее сильных землетрясения в 1983 г. ( $K_s = 15.4$ ) и в 1987 г. ( $K_s = 14.1$ ). Кроме того, в этой же зоне в период с 1980 по 1989 гг. произошло три землетрясения с  $K_s = 13.2, 13.7, 13.9$ . Вторым участком повышенной активности явилась вытянутая в северо-западном направлении, по-видимому, разломная зона, где наблюдались форшоки Кроноцкого землетрясения 1997 г. До форшоков, в период с 1965 по 1997 гг. здесь произошло пять землетрясений с  $K_s = 13.0-13.7$  и целый ряд более слабых землетрясений. После Кроноцкого землетрясения эта зона проявляла сравнительно слабую сейсмическую активность. Кроме того, несколько землетрясений с  $K_s = 12.0-13.7$  произошло вблизи желоба и на продолжении Алеутского трансформного разлома, разделяющего Тихоокеанскую и Северо-Американскую (Берингийский блок) литосферные плиты.

В пределах этого сегмента было зарегистрировано два сильных землетрясения в 1737 г. ( $M = 7.8$ ) и в 1923 г. ( $M = 7.3$ ). Оба эти землетрясения произошли на глубине около 25 км и приурочены к возвышенности, расположенной в центре сегмента. Характерно, что в период инструментальных наблюдений сейсмическая активность практически не затронула эту возвышенность, которая, по-видимому, представляет собой надвиговый блок. Вероятно, в этом блоке идет накопление сейсмической энергии.

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

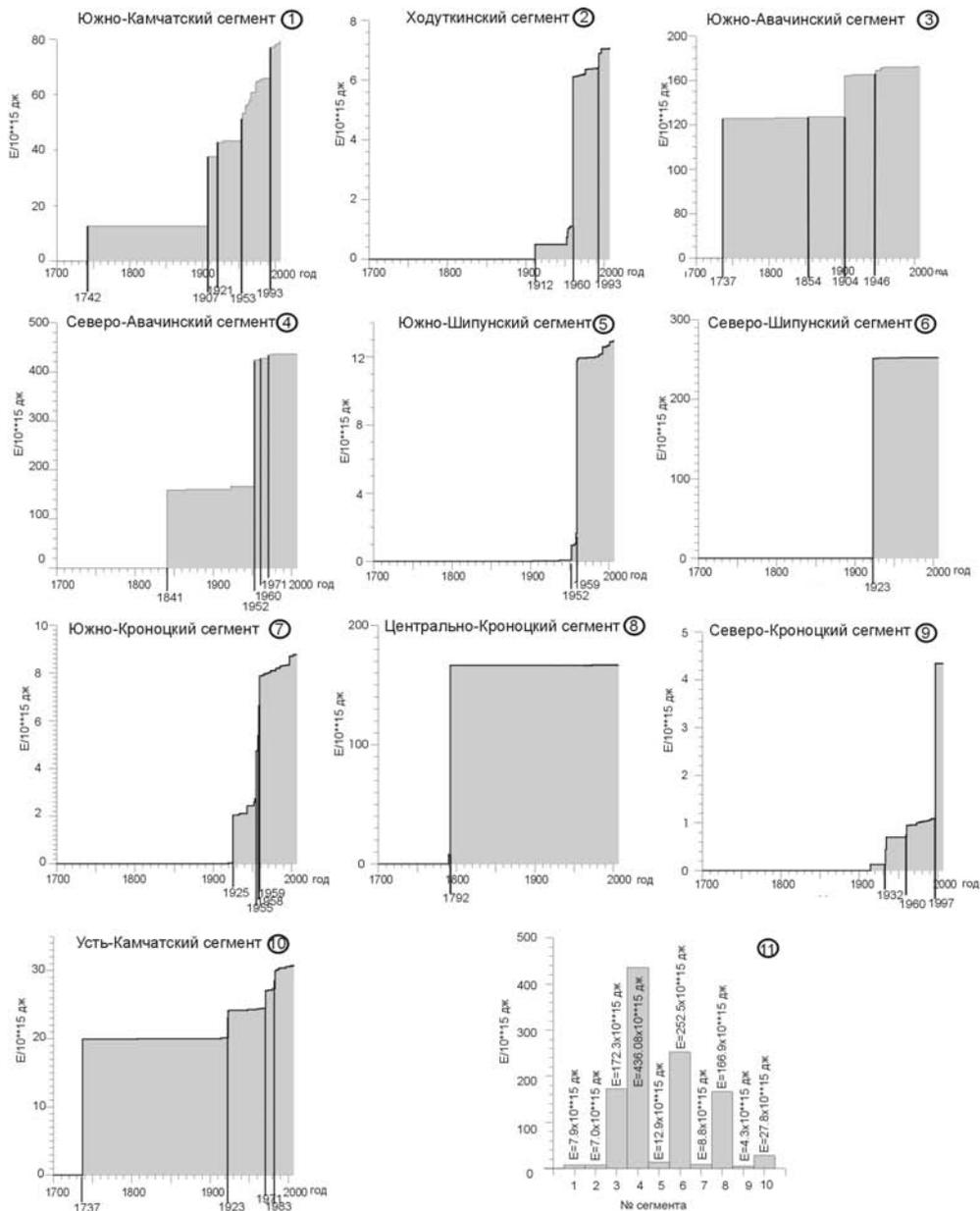
Разрядка сейсмической энергии происходит в основном за счет сильных землетрясений. В большинстве сейсмологических работ разрядку сейсмической энергии относят ко всей очаговой зоне, выделяемой по афтершокам (Гусев, 2006). В соответствии с клавишно-блоковой моделью строения надвигаемой плиты в зоне субдукции (Лобковский, Баранов, 1984; Лобковский и др., 2004) и с выявленной на ее основе сегментацией Камчатской зоны субдукции (Авдейко, Палуева, 2008) в данной работе мы относим основную разрядку сейсмической энергии к основному толчку, который происходит в месте максимального сейсмического сцепления. Так, во время главного толчка Кроноцкого землетрясения 1997 г. было выделено  $3.16 \cdot 10^{15}$  Дж сейсмической энергии (82.5%), а на все афтершоки приходится лишь  $0.67 \cdot 10^{15}$  Дж. О том, что участки сильного сейсмического сцепления существуют свидетельствует

участок «сейсмического молчания» почти в центре очаговой зоны этого землетрясения, в котором афтершоки практически отсутствуют. Мы считаем, что это как раз участок сильного сейсмического сцепления, в котором «спусковой крючок» Кроноцкого землетрясения не сработал. Такой подход позволяет выделять сейсмоопасные участки, в которых идет подготовка следующих сильных землетрясений.

На кумулятивных кривых (рис. 9) видно, что по разрядке сейсмической энергии, суммированной начиная с 1737 г., сегменты далеко неравнозначны. За этот период максимальная разрядка энергии произошла в Северо-Авачинском сегменте (рис. 9, позиция 4), который к тому же наиболее близко расположен к Петропавловску-Камчатскому. Довольно высокой разрядка сейсмической энергии была также в Южно-Авачинском, Северо-Шипунском и Центрально-Кроноцком сегментах. Слабая разрядка энергии была в Южно-Камчатском, Ходуткинском, Южно-Шипунском, Южно-Кроноцком и Северо-Кроноцком сегментах. В последнем, кстати, произошло наиболее сильное землетрясение за период детальных наблюдений (5 декабря 1997 г.,  $M = 7.9$ ).

Существенные различия разрядки сейсмической энергии наблюдаются также по зонам в пределах сегментов (рис. 10). Основная разрядка сейсмической энергии происходила в зоне поддвига, значительно меньшая в зоне изгиба и минимальная — в зоне Беньофа. Максимум разрядки энергии в зоне поддвига приходится на центральную часть Камчатской зоны субдукции от Южно-Авачинского до Центрально-Кроноцкого сегментов (рис. 10, сегменты 3-8). В зоне изгиба максимум энергии выделился в Северо-Авачинском сегменте. В двух южных сегментах — Южно-Камчатском и Ходуткинском разрядка сейсмической энергии минимальна. Говоря о причинах такого различия, следует отметить, что эти участки отличаются по времени начала субдукции. В южной части Камчатки субдукционный режим сформировался начиная с конца олигоцена, т. е. около 25 млн л. н., а в северной части он сформировался около 10 млн лет назад, после перескока субдукции на современное положение (Леглер, 1977; Авдейко и др., 2002). Кроме того, следует отметить, что эпицентры сильных землетрясений, в которых происходила основная разрядка сейсмической энергии, пространственно совпадают с тектоническими поднятиями, представляющими собой взбросо-надвиговые блоки, формируемые за счет сильного сейсмического сцепления между подвигаемой Тихоокеанской и надвигаемой Охотской плитами. Исходя из модели формирования сегментов и взбросо-надвиговых блоков (Авдейко,

## СЕГМЕНТАЦИЯ КАМЧАТСКОЙ ЗОНЫ СУБДУКЦИИ



**Рис. 9.** Кумулятивные кривые разрядки сейсмической энергии Камчатской зоны субдукции в сейсмоактивных сегментах. Номера кривых 1-10 соответствуют номерам сегментов на рис. 1, 4, 8. Вертикальными прямыми на них отмечены годы сильных землетрясений. Под номером 11 показаны суммарные величины выделенной энергии по сегментам в едином масштабе.

Палуева, 2009), можно предположить, что в пределах южных сегментов взбросо-надвиговые разломы уже полностью сформировались и в их пределах происходят рои землетрясений, подновляющие надвиговые блоки, а основная разрядка энергии происходит в зоне изгиба так же, как и в Южно-Камчатском сегменте, где тектонические возвышенности отсутствуют. В северных же сегментах еще продолжается формирование взбросо-надвиговых блоков, где и происходит основная разрядка сейсмической энергии. Северо-Авачинский сегмент, где отмечено максимальное суммарное выделение энергии в зонах поддвига, изгиба и Беньюфа приходится как раз на серию трансформных разло-

мов между Южными и Северными сегментами, по которым произошел перескок зоны субдукции на современное положение (Авдейко и др., 2002).

## ВЫВОДЫ

1. В **Южно-Камчатском сегменте** тектонические террасы и поднятия отсутствуют. В пределах зоны поддвига отмечались только слабые землетрясения. По-видимому, мощная толща осадков на поверхности Тихоокеанской плиты действует как смазка и сейсмическое сцепление между ней и надвигаемой (нависающей) Охотской плитой слабое. Разрядка сейсмической энергии происходит в зоне изгиба при

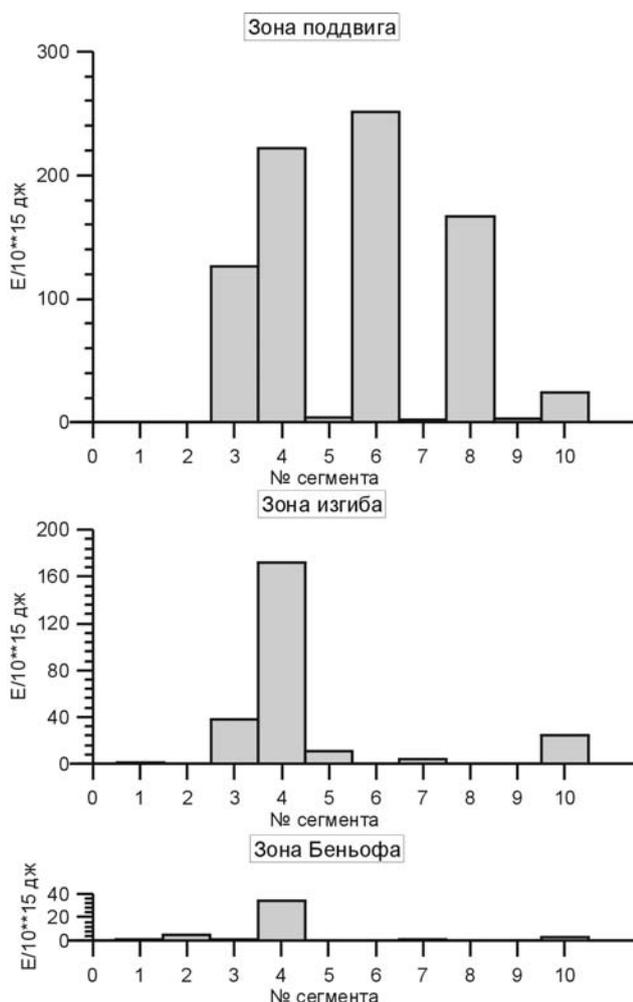


Рис. 10. Суммарные величины выделенной сейсмической энергии ( $E/10^{15}$  Дж) в зонах поддвига, изгиба и Беньофа каждого сегмента.

упоре Тихоокеанской плиты в Охотскую плиту. Начиная с 1737 г. здесь произошло только одно сильное землетрясение в 1993 г. ( $M = 7.4$ ,  $M_w = 7.5$ ) на глубине около 50 км. В будущем зона поддвига этого сегмента вряд ли будет представлять опасность генерации сильного землетрясения. Опасность может представлять только зона изгиба.

2. В зоне поддвига **Ходуткинского сегмента** сейсмическая активность была проявлена в виде роев землетрясений, локализованных в пределах взбросо-надвигового блока, пространственно совпадающего с подводной горой. В зоне изгиба в 1993 г. зарегистрировано только одно сильное землетрясение ( $K_s = 14.6$ ,  $M = 7.1$ ). До периода детальных наблюдений сильные землетрясения в этом сегменте не зарегистрированы и в будущем сейсмическую опасность, по-видимому, может представлять только зона изгиба. Плоскость разрыва в надвиговом блоке зоны поддвига, очевидно, разработана, сейсмическое сцепление ослаблено, а сейсмическая активность проявляется в виде роев землетрясений.

3. **Южно-Авачинский сегмент** в период детальных наблюдений, так же, как и Ходуткинский, в зоне поддвига проявлял сейсмическую активность в виде роев землетрясений, приуроченных к взбросо-надвиговому блоку. Один из роев (июнь 1996 г.) начинался с довольно сильного землетрясения ( $K_s = 14.6$ ,  $M = 7.1$ ), так что рой 1996 г. можно считать очаговой зоной проявления афтершоков этого землетрясения. Зона перегиба проявлялась в виде слабых землетрясений. В соответствии с координатами, приведенными в Каталоге цунами (Каталог..., 1987), эпицентр мощного цунамигенерирующего землетрясения 1737 г. располагался у восточного края очаговой зоны (роя) землетрясения 1996 г. До периода детальных наблюдений в зоне изгиба этого сегмента в одном и том же месте было зарегистрировано два сильных землетрясения с  $M = 7.7$  в 1904 г. и одно с  $M = 7.2$  в 1942 г. В будущем опасность проявления сильных землетрясений в зоне изгиба этого сегмента сохраняется. Не исключено и проявление сильных землетрясений в надвиговых блоках, хотя, как было сказано выше, здесь сформировался стационарный режим субдукции.

4. **Северо-Авачинский сегмент** приурочен к существовавшей в миоцене зоне трансформного взаимодействия между участками с разным возрастом субдукции. Он проявлял наибольшую сейсмическую активность как по числу сильных землетрясений, так и по величине выделившейся сейсмической энергии (рис. 5, 9). Здесь наблюдаются максимальные величины выделившейся энергии во всех трех зонах, т. е. в зоне поддвига, зоне изгиба и в зоне Беньофа (рис. 10). В зоне поддвига сильные землетрясения были зафиксированы в 1923 г. ( $M = 7.0$ , глубина 25 км) в районе 2-го взбросо-надвигового блока, вблизи границы с Южно-Шипунским сегментом, и катастрофическое цунамигенерирующее землетрясение 1952 г. ( $M = 8.5$ , глубина 40 км). В зоне изгиба сильные землетрясения происходили в 1841 г. ( $M = 8.4$ , глубина 50 км) и в 1866 г. ( $M = 7.0$ , глубина 38 км), причем оба эти землетрясения произошли на одном и том же месте и были цунамигенерирующими. В 1952 г., через 25 дней после катастрофического цунамигенерирующего землетрясения в зоне изгиба также произошло сильное землетрясение ( $M = 7.8$ , глубина 40 км). Непосредственно в зоне Беньофа было зарегистрировано сильное землетрясение в 1922 г. ( $M = 7.4$ , глубина 220 км).

В будущем зона поддвига и зона изгиба Северо-Авачинского сегмента будут представлять серьезную сейсмическую опасность. Наибольшую опасность, по-видимому, представляет зона изгиба, где в непосредственной близости от Петропавловска-Камчатского произошло четы-

ре сильных землетрясения. Серьезную опасность могут также представлять взбросо-надвиговые блоки зоны поддвига, но в настоящее время разрядка сейсмической энергии в них происходит за счет роевых землетрясений. Для оценки времени вероятного проявления сильных землетрясений необходимо проведение дополнительных исследований.

5. Основная сейсмическая активность **Южно-Шипунского сегмента** происходила в зоне изгиба, где в 1992 г. в непосредственной близости к Петропавловску-Камчатскому произошло сильное землетрясение ( $K_s = 14.6$ ,  $M = 7.1$ , глубина 20 км). В зоне поддвига происходили роевые землетрясения с довольно сильными землетрясениями ( $K_s = 14.1$ ). В будущем наибольшую опасность в этом сегменте, по-видимому, будет представлять зона изгиба.

6. **Северо-Шипунский сегмент**, вернее, надвиговой блок сегмента, приуроченный к тектонической возвышенности, в настоящее время представляет собой сейсмическую брешь и является наиболее опасным местом проявления сильного, возможно, цунамигенерирующего землетрясения. Сейсмический цикл в зоне поддвига этого сегмента составляет, по-видимому, не менее 150 лет, так как с 1737 г. здесь зарегистрировано только одно сильное землетрясение в 1923 г. Сейсмическое сцепление пока еще достаточно сильное, так как за период детальных наблюдений надвиговой блок оставался практически асейсмичным, в том числе в период сильного Кроноцкого землетрясения 1997 г.

7. **Южно-Кроноцкий сегмент** в настоящее время не представляет серьезной сейсмической опасности, так как сейсмическое сцепление между взаимодействующими Тихоокеанской и Охотской плитами в сегменте, по-видимому, довольно слабое. Во-первых, начиная с 1737 г. здесь не зарегистрировано ни одного сильного землетрясения, во-вторых, афтершоковая активность Кроноцкого землетрясения 1997 г., произошедшего в Северо-Кроноцком сегменте, проявилась здесь за счет многочисленных, но сравнительно слабых землетрясений.

8. **Центрально-Кроноцкий сегмент** в отличие от Южно-Кроноцкого представляет повышенную опасность проявления очень сильного, вероятно, цунамигенерирующего землетрясения. Несмотря на то, что этот сегмент вошел в очаговую зону афтершоков Кроноцкого землетрясения 1997 г., 2-й надвиговой блок этого сегмента оставался асейсмичным в период афтершоковой активности, а также до и после него. Следует подчеркнуть, что в пределах возвышенности, соответствующей 2-му надвиговому блоку, зарегистрировано два сильных землетрясения: в 1790 г. ( $M = 7.5$ ) и в 1792 г.

цунамигенерирующее землетрясение ( $M = 8.4$ ). Очевидно, сцепление между плитами в зоне поддвига и/или сцепление непосредственно в плоскости взбросо-надвига было настолько сильным, что блок оказался асейсмичным, находясь в центре очаговой зоны афтершоков Кроноцкого землетрясения.

9. **Северо-Кроноцкий сегмент** в настоящее время не является сейсмически опасным, так как в нем произошла разрядка сейсмической энергии во время Кроноцкого землетрясения 1997 г. До этого сильные землетрясения в сегменте не наблюдались, так что сейсмический цикл в сегменте составляет, видимо, не менее 200 лет. В будущем же этот сегмент может представлять опасность проявления сильных землетрясений.

10. Сейсмическая активность **Усть-Камчатского сегмента**, приуроченного к зоне Камчатско-Алеутского сочленения, проявлена в пределах тектонической возвышенности (надвиговой блок), где зарегистрировано два сильных землетрясения в 1737 г. ( $M = 7.8$ ) и в 1923 г. ( $M = 7.3$ ) на глубине 25 км. Судя по сейсмическому циклу (около 180 лет), если в 1923 г. произошла полная разрядка напряжения, следующее сильное землетрясение следует ожидать здесь через 90-100 лет. Сейсмическая активность трансформного разлома между Тихоокеанской плитой и Берингским блоком Северо-Американской плиты требует дальнейшего рассмотрения.

Суммируя данные по всем сегментам, можно сделать следующие выводы.

Наиболее сильные землетрясения в зонах поддвига всех сегментов приурочены к возвышенностям на дне континентального склона Восточной Камчатки, которые, очевидно, являются взбросо-надвиговыми блоками. Наибольшую опасность они представляют на участке от Северо-Авачинского до Усть-Камчатского сегментов, где субдукция началась около 10 млн лет назад. Южно-Авачинский и Ходуткинский сегменты, в которых имеются отчетливые взбросо-надвиговые блоки, представляют меньшую опасность, так как субдукция в них началась около 25 млн лет назад и за это время сформировался стационарный режим. Зона поддвига Южно-Камчатского сегмента не представляет сейсмической опасности, так как сейсмическое сцепление между плитами слабое.

Зона изгиба четырех южных сегментов (от Южно-Камчатского до Северо-Авачинского), по сравнению с северными сегментами (от Южно-Шипунского до Усть-Камчатского), представляет более высокую сейсмическую опасность. По-видимому, основная разрядка сейсмической энергии в северных сегментах происходит в зонах поддвига, а в южных сегментах при стационарном режиме субдукции основная разрядка

происходит при изгибе и упоре Тихоокеанской плиты в Охотскую плиту.

Зона Беньофа на продолжении южных сегментов по этой же причине также более сейсмически активна, чем в северных. Несколько повышенная сейсмическая активность зоны Беньофа Усть-Камчатского сегмента связана, по нашему мнению, с более сильным сцеплением при поддвигании Гавайско-Императорской цепи подводных гор.

**Благодарности.** Мы признательны сотрудникам Камчатского филиала ГС РАН за предоставление качественных материалов по сейсмичности Камчатской зоны субдукции, а также рецензентам, замечания которых позволили улучшить статью.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов ДВО № 08-III-A-419 и РФФИ № 09-05-98591 Восток.

#### Список литературы

- Авдейко Г.П., Палуева А.А.* Взаимодействие литосферных плит и вероятная природа землетрясений Корякского региона // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности на Дальнем Востоке России. Труды региональной научно-технической конференции 11-17 ноября 2007 г. Петропавловск-Камчатский. 2008. Т. 1. С. 135-139.
- Авдейко Г.П., Палуева А.А.* Геодинамика Камчатской зоны субдукции: вулканизм, сейсмоопасность и цунамиопасность // IV Всероссийский симпозиум по вулканологии и палеовулканологии. Вулканизм и геодинамика. Материалы симпозиума. Петропавловск-Камчатский: ИВиС, 2009. Т. 2. С. 567-570.
- Авдейко Г.П., Палуева А.А., Лепиньч С.В.* Сейсмоактивные тектонические структуры зоны субдукции под Восточную Камчатку // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2004. № 3. С. 18-35.
- Авдейко Г.П., Попруженко С.В., Палуева А.А.* Тектоническое развитие и вулканотектоническое районирование Курило-Камчатской островодужной системы // Геотектоника. 2002. № 4. С. 64-80.
- Авдейко Г.П., Широков В.А., Егоров Ю.О., Палуева А.А.* Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 г. и взаимодействие Тихоокеанской и Евразийской литосферных плит // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года/ Предвестники, особенности, последствия. Отв. ред. Е.И. Гордеев, Б.В. Иванов, А.В. Викулин. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатской ГАРФ, 1998. С. 222-239.
- Балакина Л.М.* Землетрясения Тихого океана (пространственное расположение и процессы в очагах) // Геотектоника. 1983. № 5. С. 20-37.
- Гусев А.А.* Сильные землетрясения Камчатки: расположение очагов в инструментальный период // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 39-42.
- Гусев А.А., Шумилина Л.С.* Повторяемость сильных землетрясений Камчатки в шкале моментных магнитуд // Физика Земли. 2004. № 3. С. 34-42.
- Каталог цунами на Камчатке. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1987. 50 с.
- Леглер В.А.* Развитие Камчатки в кайнозой с точки зрения теории тектоники литосферных плит (источники энергии тектонических процессов и динамика плит) // Тектоника литосферных плит. М.: Ин-т океанологии АН СССР, 1977. С. 137-169.
- Лобковский Л.И.* Геодинамика зон спрединга, субдукции и двухъярусная тектоника плит. М.: Наука, 1988. 251 с.
- Лобковский Л.И., Баранов Б.В.* Клавишная модель сильных землетрясений в островных дугах и активных континентальных окраинах // ДАН СССР. 1984. Т. 275. № 4. С. 7-17.
- Лобковский Л.И., Никитин А.М., Хаин В.Е.* Современные проблемы геотектоники и геодинамики. М.: Научный мир, 2004. 612 с.
- Лобковский Л.И., Сорохтин О.Г.* Строение зон поддвига литосферных плит и происхождение окраинных морей // Геофизика океана. Т. 2. Геодинамика. М.: Наука, 1979. С. 108-119.
- Лобковский Л.И., Сорохтин О.Г., Шемента А.И.* Моделирование деформаций островных дуг, приводящих к образованию тектонических террас и возникновению цунамигенных землетрясений // ДАН СССР. 1980. Т. 255. № 1. С. 74-77.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древних времен до 1975 г. / Отв. ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шабалин. М.: Наука, 1977. 536 с.
- Прибылова Н.Е., Бесстрашнов В.М., Годзиковская А.А.* Принадлежит ли очаг землетрясения 23.XI.1899 г. Камчатской сейсмоактивной зоне // Вулканология и сейсмология. 2006. № 2. С. 46-54.
- Селиверстов Н.И.* Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М.: Научный мир, 1998. 164 с.
- Селиверстов Н.И.* Структура сейсмофокальной зоны Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 1 (9). С. 10-26
- Федотов С.А.* Закономерности распределения сильных землетрясений Камчатки, Куриль-

- ских островов и северо-восточной Японии // Тр. ИФЗ АН СССР. 1965. № 36. С. 66-93.
- Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмологическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 121-150.
- Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.
- 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.
- Benioff V.H. Orogenesis and deep crustal structure // Geol. Soc. Amer. Bul. 1954. V. 65, № 5. P. 385-400.
- Isaks B.L., Oliver J., Sykes L.R. Seismology and new global tectonics // J. Geophys. Res. 1968. V. 73. P. 5855-5899.
- Proceedings of Conference VI: Metodol. for Identif. Seismic Gaps and Soon-to-Break Gaps / California, 1978. 924 p.

## HISTORIC ANALYSIS OF SEISMICITY AND SEISMIC HAZARD OF THE KAMCHATKAN SUBDUCTION ZONE

G.P. Avdeiko<sup>1,2</sup>, A.A. Palueva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Volcanology and Seismology Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006. Russia*

<sup>2</sup>*V. Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683032, Russia  
e-mail: gavdeiko@ksnet.ru*

The authors have accomplished a historic analysis of seismic events and energy which have occurred in the Kamchatka subduction zone since 1737. The strongest earthquakes with a high seismic energy were registered in the Avachinsky segment. They occurred in the flat part of the Pacific-Okhotsk interaction zone, in the bend of the Pacific plate, and in the Benioff zone. The majority of strong earthquakes and main relaxation of seismic energy in the six northern segments located between peninsulas of Shipunsky and Kamchatsky Cape were registered in the flat zones of the Pacific-Okhotsk interaction. All of them are confined to thrust blocks which look like elevated parts of the sea floor. Being the seismic gaps the thrust blocks in the North Shipunsky and Central Kronotsky segments pose a great threat. Main relaxation of seismic energy in three southern (South Kamchatsky, Khodutkinsky, and South Avachinsky) segments occurs in the bend of the Pacific plate. This is a place of a developed steady-state subduction regime.

*Keywords: seismic tectonics, seismic hazard, historic analysis, banding, subduction, Kamchatka.*