

УДК 550.34:551.242

## **ПРОСТРАНСТВЕННО-ТЕКТОНИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ РОЕВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В КАМЧАТСКОЙ ЗОНЕ СУБДУКЦИИ И ИХ ВОЗМОЖНАЯ СВЯЗЬ С ГЕНЕРАЦИЕЙ ЦУНАМИ**

**Авдейко Г.П., Палуева А.А.**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: gavdeiko@kscnet.ru*

### **Аннотация**

Показано, что рои землетрясений и цунамигенерирующие землетрясения приурочены к подводным горам на хребте-барьере, отделяющем Камчатку от глубоководного желоба. Роевые и цунамигенерирующие землетрясения, по-видимому, маркируют тектонические движения по взбросо-надвиговым блокам в пределах сейсмоактивных сегментов. Срыв сильного сейсмического сцепления между взаимодействующими литосферными плитами или в пределах взбросо-надвиговых блоков приводит к резкому изменению рельефа дна и, соответственно, к генерации цунами. При слабом сейсмическом сцеплении движения взбросо-надвиговых блоков сопровождается роями землетрясений.

### **Введение**

Согласно классической модели субдукции, гипоцентры сильных землетрясений, в том числе и цунамигенерирующих, приурочены к плоскости контакта между поддвигаемой и надвигаемой (нависающей) литосферными плитами [22, 23]. Исходя из анализа механизмов очагов и пространственного распределения афтершоков цунамигенерирующих землетрясений Тихоокеанского сейсмического пояса, Л.М. Балакина [4, 5] пришла к выводу о том, что большинство землетрясений, сопровождаемых цунами, связано с взбросовыми подвижками по плоскостям, падающим в сторону океана. С такой интерпретацией согласуются данные о приуроченности большинства источников цунами к глубоководным террасам на островодужных (континентальных) склонах глубоководных желобов [6, 24] и результаты математического моделирования генерации цунами [3]. Вероятность существования таких надвиговых подвижек подтверждается физическим моделированием процесса субдукции [11].

Основываясь на этих данных, а также на клавишно-блоковой модели строения консолидированного литосферного выступа надвигаемой (нависающей) плиты [9] и на концепции сейсмических брешей и сейсмических циклов [17, 18], Л.И. Лобковский выделил три типа подвижек по разломам в очагах сильных землетрясений, с которыми может быть связано образование цунами [8,10]. Наиболее распространенный первый тип, названный «смешанным», характеризуется практически одновременными подвижками как по плоскости взаимодействия поддвигаемой и надвигаемой плит, так и по плоскости взброса или сброса в надвигаемой плите. Второй тип «упругой отдачи» характеризуется подвижками только по плоскости взаимодействия поддвигаемой и надвигаемой плит. В третьем, «поршневом» типе, разрядка напряжений происходит по субвертикальному взбросу в надвигаемой плите.

При проведении исторического анализа сейсмических событий Камчатской зоны субдукции по выделенным ранее сегментам [1, 2], мы обратили внимание на приуроченность роев землетрясений к подводным горам и на повторное проявление роев в одних и тех же

местах. Несмотря на низкую точность определения местоположения очагов землетрясений до середины XX века, эпицентры пяти из семи сильных землетрясений, сопровождаемых цунами [7], также оказались приуроченными к подводным горам, причем два из них – к тем же горам, на которых были зарегистрированы рои землетрясений. Подводные горы, на которых были отмечены и рои землетрясений и/или эпицентры главных толчков землетрясений, расположены на подводных хребтах-барьерах, отделяющих впадины Авачинского, Кроноцкого и Камчатского заливов от Курило-Камчатского глубоководного желоба [14, 16]. Такая приуроченность цунамигенерирующих землетрясений и роев землетрясений к одним и тем же морфоструктурам вряд ли является случайной, а частая повторяемость роев в одних и тех же местах подтверждает предложенную ранее модель формирования надвиговых блоков.

### **Материал и методика его анализа**

В основу оценки пространственного положения источников цунами в пределах Камчатской зоны субдукции положены данные регионального каталога землетрясений Камчатки, составленного и пополняемого Камчатским филиалом Геофизической службы РАН ([http://data.emsd.iks.ru/dbquaketxt\\_min/index\\_r.htm#tops](http://data.emsd.iks.ru/dbquaketxt_min/index_r.htm#tops)), а также [7, 12]. Оценка энергии землетрясений в региональном каталоге проводится по шкале энергетических классов ( $K_s$ ) С.А. Федотова [19].

При оценке пространственного положения эпицентров и очаговых зон землетрясений мы, в основном, использовали данные по землетрясениям с  $K_s \geq 9.0$ , так как уверенно регистрируются землетрясения, начиная с  $K_s = 8.5$  [15]. Для оценки пространственно-структурной приуроченности эпицентров землетрясений и сейсмоактивных структур с морфоструктурами континентального склона Восточной Камчатки была использована батиметрическая карта Камчатско-Командорского региона [14]. Эта карта составлена по результатам детальных исследований, проведенных в рейсах НИС «Вулканолог» в 1977–1991 гг., и является наиболее подробной из всех, имеющихся для этого района.

Для тектонической приуроченности очагов землетрясений 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 [21]. По более ранним, в основном сильным цунамигенерирующим землетрясениям, произошедшим в XVIII–XX веках, использовались данные [7, 12], в которых точность определения координат эпицентров и глубин гипоцентров землетрясений значительно ниже.

### **Морфоструктуры континентального склона юго-восточной Камчатки**

В связи с тем, что «цунами возникает только вследствие тех землетрясений, которые связаны с быстрым образованием на дне океана сбросов, обвалов и оползней» [13, с. 3], важное значение приобретают данные о рельефе дна в местах зарождения цунами [17]. Детали строения подводного рельефа между побережьем Восточной Камчатки и Курило-Камчатским глубоководным желобом, т. е. местом приуроченности эпицентров почти всех цунамигенерирующих землетрясений стали известны благодаря подробной батимет-

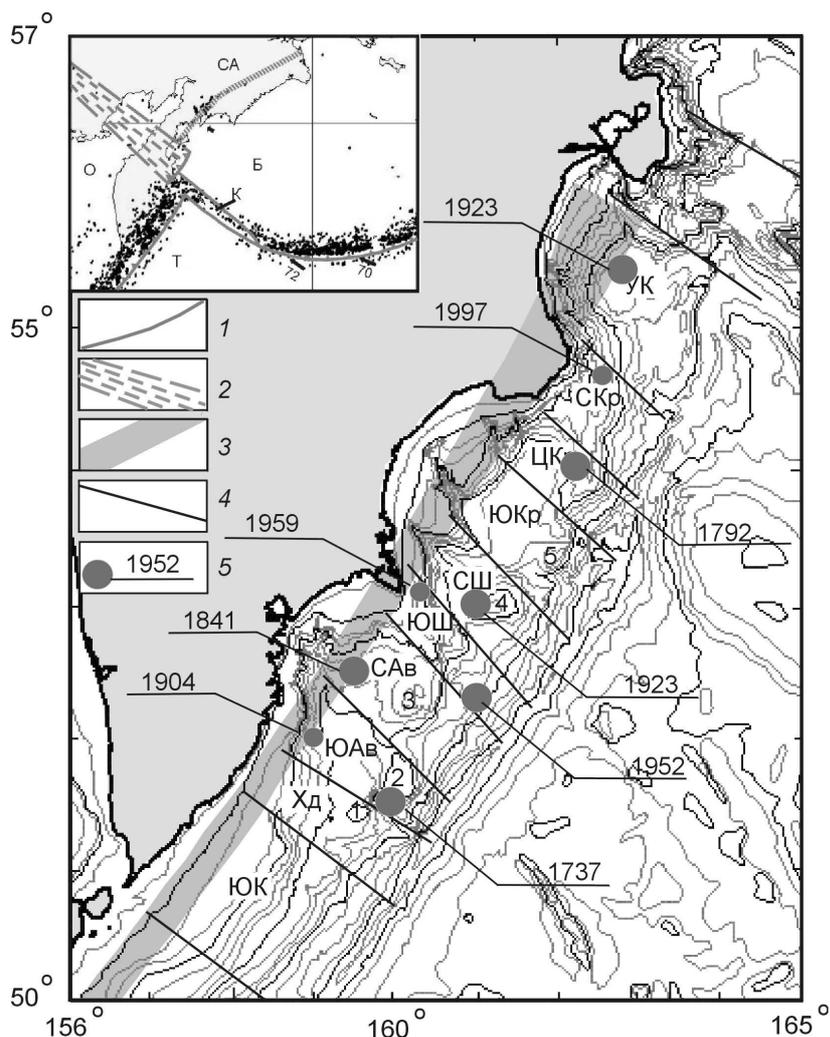


Рис. 1. Местоположение эпицентров цунамигенерирующих землетрясений. Батиметрическая карта по Н.И. Селиверстову, 1998. На врезке: 1 – границы литосферных плит, 2 – рассредоточенная граница между Охотской (О) и Северо-Американской (СА) плитами, Б – Берингский блок СА плиты, Т – Тихоокеанская плита, К – Командорская микроплита. На карте: 3 – тектоническая дуга (зона резкого изгиба Тихоокеанской плиты), 4 – разломы – границы между сейсмоактивными сегментами, 5 – эпицентры цунамигенерирующих землетрясений. Сегменты: ЮК – Южно-Камчатский, Хд – Ходуткинский, ЮАв – Южно-Авачинский, САв – Северо-Авачинский, ЮШ – Южно-Шипунский, СШ – Северо-Шипунский, ЮКр – Южно-Кроноцкий, ЦКр – Центрально-Кроноцкий, СКр – Северо-Кроноцкий, УК – Усть-Камчатский. Цифрами на карте отмечены отдельные подводные горы.

рической карте, составленной Н.И. Селиверстовым [14]. На рис. 1 приведен упрощенный фрагмент этой карты.

Отличительной особенностью строения континентального склона Восточной Камчатки является наличие крупных впадин Авачинского, Кроноцкого и Камчатского заливов, отделенных от Курило-Камчатского глубоководного желоба подводными хребтами-барьерами, которые «начинаются и заканчиваются у подводных продолжений полуостровов Восточной Камчатки или крупных поперечных горст-антиклинальных морфоструктур континентального склона» [16, с. 15]. Единый хребет-барьер протягивается субпараллель-

ПРОСТРАНСТВЕННО-ТЕКТОНИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ РОЕВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В КАМЧАТСКОЙ ЗОНЕ СУБДУКЦИИ И ИХ ВОЗМОЖНАЯ СВЯЗЬ С ГЕНЕРАЦИЕЙ ЦУНАМИ

но глубоководному желобу от широты  $51^{\circ}$  на юге Камчатки до сочленения с Алеутской дугой ( $56^{\circ}$  с.ш.). Хребет-барьер в пределах Авачинского залива назван хребтом Н.С. Шатского [14]. В хребте Шатского выделяются отдельные горы, превышение которых над дном со стороны Камчатки достигает 1200 м. Как правило, горы расположены внутри выделенных ранее сегментов [1, 2], а разделяющие сегменты разломы приурочены к седловинам (рис. 1). На схематизированных разрезах вкрест Курило-Камчатского желоба [14, рис. 7, разрезы 1–16] видно, что, наряду с основным хребтом-барьером, на каждом разрезе имеются еще одна – две тектонические террасы, располагающиеся между хребтом-барьером и глубоководным желобом. С фронтальной части тектонических террас, то есть со стороны Камчатки, отчетливо проявлены прогибы, выполненные осадками. На сейсмическом разрезе МОВ ОГТ ГТР-1, выполненном ПГО «Севморгеология», отчетливо видно, что ам-

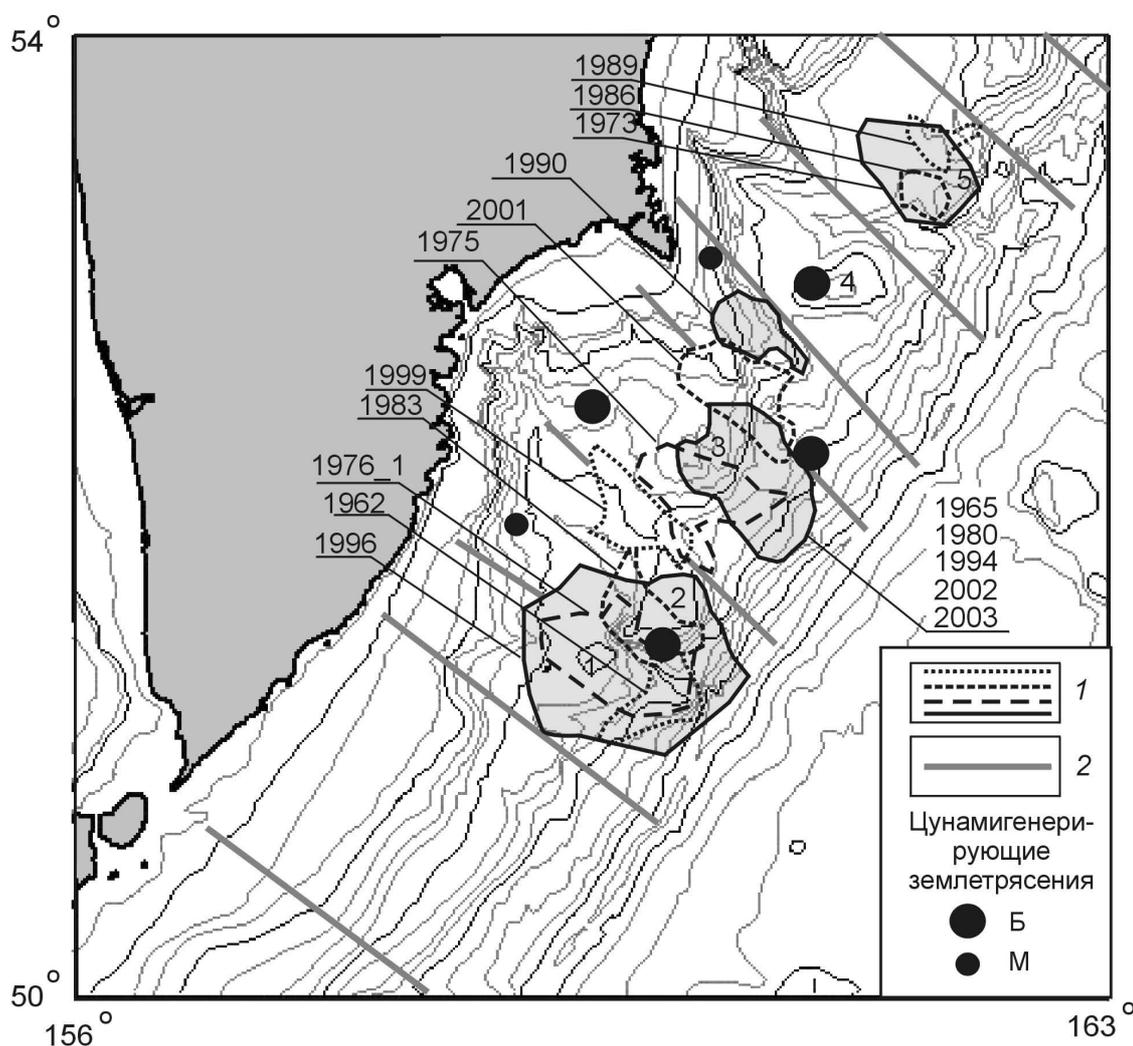


Рис. 2. Местоположение очаговых зон роев землетрясений и эпицентров цунамигенерирующих землетрясений, сопровождавшихся большими заплесками (Б) и малыми (М). 1 – границы очаговых зон роев землетрясений. Годы проявления роев указаны на карте, 2 – границы сейсмоактивных сегментов.

плитуда превышения хребта-барьера над дном по акустическому фундаменту больше, чем по поверхности дна. По взаиморасположению рельефа дна и рельефа акустического фундамента можно предположить, что хребет-барьер образован в результате взброса или надвига с падением плоскости сместителя на юго-восток, то есть в сторону противоположную направлению поддвига Тихоокеанской плиты.

### Пространственно-структурное положение гипоцентров роев землетрясений

За период детальных наблюдений до 2009 г. в Камчатской зоне субдукции зарегистрировано 20 роев землетрясений, пространственно приуроченных к хребту-барьеру (рис. 2). Рассмотрим положение этих роев в направлении с юго-запада на северо-восток.

На юго-западном окончании хребта Шатского наблюдалось четыре роя землетрясений и одно сильное землетрясение 1996 г., сопровождавшееся афтершоками (рис. 2). Рой апреля 1962 г. (17 землетрясений за 6 дней с  $K_s = 9.2-12.3$ ) и роя января 1976 г. (104 землетрясения за 24 дня с  $K_s = 9.0-13.4$ ) были приурочены к подводной горе 1 в Ходуткинском сег-

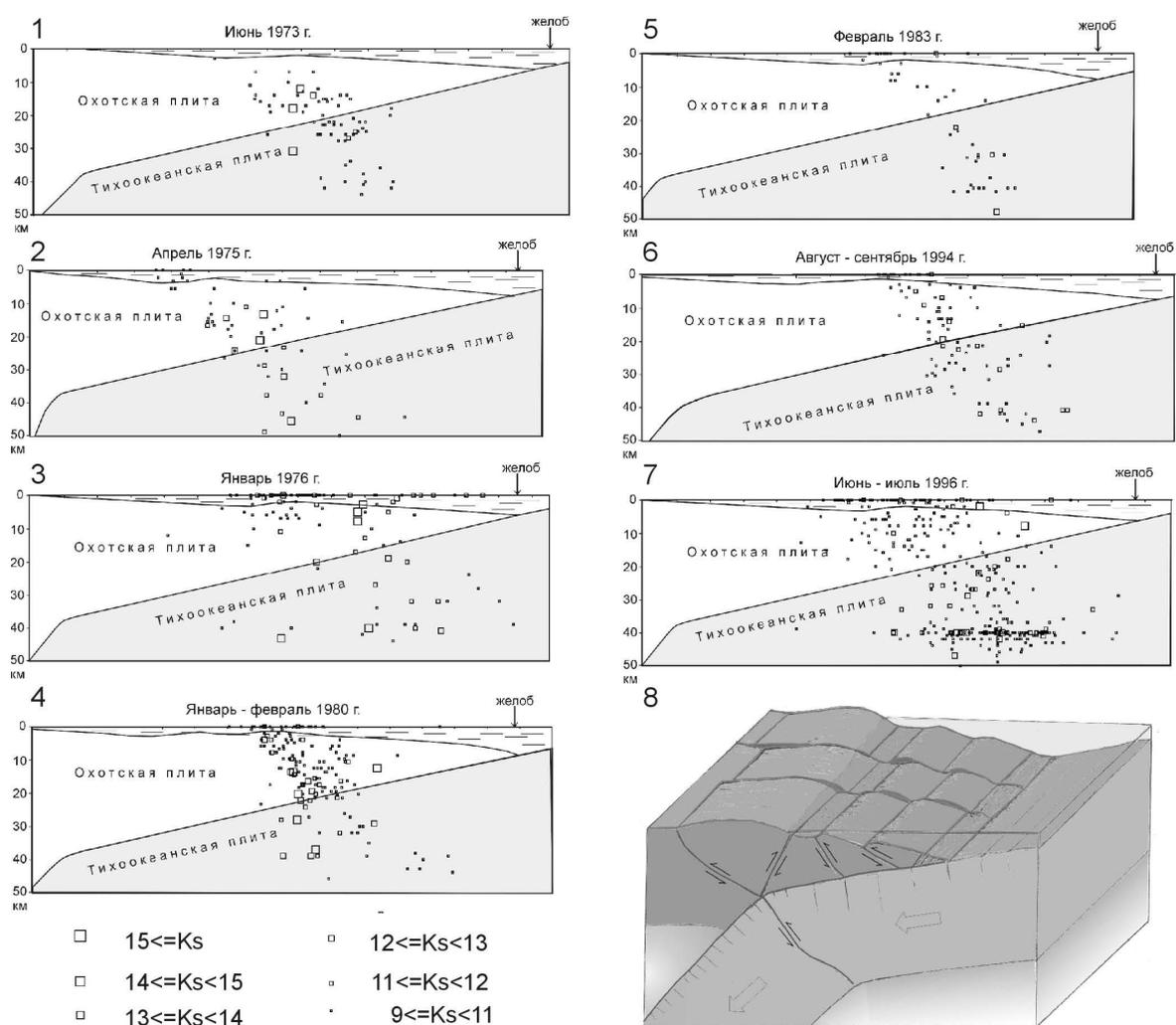


Рис. 3. Сейсмические разрезы некоторых роев землетрясений вкосте простирания Камчатской зоны субдукции (-7) и принципиальная блок-диаграмма разломов (8) в зоне субдукции. Разломы по Л.И. Лобковскому, 1988.

менте, рой февраля 1983 г. (50 землетрясений за 13 дней с  $K_s = 9.0-12.8$ ) – к подводной горе 2 в Южно-Авачинском сегменте, а рой мая 1976 г. (16 землетрясений за 20 дней с  $K_s = 9.2-11.6$ ) – к граничному разлому между Ходуткинским и Южно-Авачинским сегментами. Очаговая зона афтершоков сильного землетрясения, произошедшего в июне 1996 г. ( $M = 7.3$ ,  $M_w = 6.7$ ), охватила обе горы в Ходуткинском и Южно-Авачинском сегментах (рис. 2) «Облака» гипоцентров всех перечисленных роев и афтершоков землетрясения 1996 г. на поперечных сейсмических разрезах вкрест простирания Камчатской зоны субдукции наклонены на юго-восток, то есть в противоположную относительно направления субдукции сторону (рис. 3, положения 3, 5, 7). Хотя точность определения гипоцентров землетрясений оставляет желать лучшего, вряд ли случайно на всех разрезах виден наклон «облаков» гипоцентров, особенно заметный в пределах Охотской плиты.

На юго-восточном склоне подводной горы 3 в пределах Северо-Авачинского сегмента зарегистрировано 5 роев землетрясений, контуры очаговых зон которых примерно совпадают (рис. 2). Это рой декабря 1965 г. (всего 25 землетрясений, из них 23 за 6 дней с  $K_s = 9.1-12.6$ ), рой января 1980 г. (157 землетрясений с  $K_s = 9.0-13.7$ , из них 81 землетрясение 23 января), рой августа 1994 г. (95 землетрясений за 22 дня), рой мая 2002 г. (36 землетрясения за 24 дня) и рой марта 2003 г. (105 землетрясений за 16 дней с  $K_s = 9.0-13.3$ ). Интересно, что временной интервал между этими роями составляет около 15 лет, а слабый рой 2002 г. предшествовал мощному рою 2003 г. Северо-восточная граница этих роев совпадает с разломом на границе Северо-Авачинского и Южно-Шипунского сегментов. Так же как и в роях землетрясений, приуроченных к Ходуткинскому и Южно-Авачинскому сегментам, в Северо-Авачинском сегменте «облака» роев наклонены на юго-восток (рис. 3, положения 4, 6). Особенно отчетливо это проявлено по гипоцентрам роя землетрясений 1980 г. в Охотской плите. Что касается гипоцентров, приуроченных к Тихоокеанской плите (рис. 3, положение 4), то, по-видимому, часть из них относится к подошве Охотской плиты и к плоскости непосредственного взаимодействия плит.

Рой апреля 1975 г. (60 землетрясений за 26 дней, из них 51 землетрясение с  $K_s = 9.0-13.7$  за первые 11 дней) так же был приурочен к Северо-Авачинскому сегменту, юго-западнее поля пяти роев, частично перекрывая его (рис. 2). «Облако» гипоцентров этого роя точно также отчетливо наклонено на юго-восток (рис. 3, положение 2).

Очаговая зона роя марта 1999 г. (58 землетрясений с  $K_s = 9.0-14.3$ ) приурочена к разлому между Южно-Авачинским и Северо-Авачинским сегментами. Рой начался 8 марта с землетрясения с  $K_s = 13.1$  и 42 землетрясения этого роя произошли 8 марта, очевидно, в честь женщин Института вулканологии и сейсмологии. Сильное землетрясение в  $K_s = 14.3$ , пятое землетрясение этого роя зарегистрировано в пределах Южно-Авачинского сегмента. Тектонические движения, сопровождаемые землетрясениями этого роя, по-видимому, происходили не только по сдвиговой границе между сегментами, но и в пределах сегмента, о чем свидетельствует наклон «облака» гипоцентров землетрясений этого роя, такого же, как и у рассмотренных выше роев.

Слабый рой 1990 г. (40 землетрясений) проявился двумя этапами в пределах Южно-Шипунского сегмента. Первый этап из 29 землетрясений с  $K_s = 9.0-12.5$  начался в сентябре, второй этап начался 19 декабря с довольно сильного землетрясения с  $K_s = 13.5$  и продолжался до 28 декабря. В этом рое намечается лишь слабая тенденция наклона «облака» роя в юго-восточном направлении. Рой 5–31 октября 2001 г. был приурочен к границе

между Северо-Авачинским и Южно-Шипунским сегментами (117 землетрясений с  $K_s = 9.0-12.2$ ).

Три роя землетрясений зарегистрированы в пределах Южно-Кроноцкого сегмента (рис. 2). Самый сильный из них произошел в июне 1973 г. (70 землетрясений за 13 дней,  $K_s = 9.0-13.5$ ) двумя короткими этапами. Первый начался 11 июня землетрясением с  $K_s = 13.1$  и продолжался 2 дня, второй начался 15 июня землетрясением с  $K_s = 13.5$ . Здесь, также отмечен наклон «облака» гипоцентров роя в юго-восточном направлении (рис. 3, положение 1). Два других роя были сравнительно слабыми: рой марта 1986 г. (17 землетрясений за 8 дней,  $K_s = 9.3-11.3$ ) и мая 1989 г. (14 землетрясений, из них 10 землетрясений 22 мая,  $K_s = 9.3-11.6$ ).

Итак, все рои землетрясений, зарегистрированные за инструментальный период наблюдений, приурочены к хребту-барьеру между побережьем Камчатки и глубоководным желобом. Шестнадцать из них локализованы в пределах гор внутри сегментов, три приурочены к граничным разломам между сегментами и один – к поперечному хребту, отходящему от Шипунского полуострова (рис. 2). Практически для всех роев наблюдается тенденция наклона «облаков» гипоцентров землетрясений в сторону, противоположную движению Тихоокеанской плиты. Положение и наклон «облаков» роев землетрясений соответствует взбросо-надвиговым разломам на консолидированном выступе надвигаемой (нависающей) плиты, которые подтверждены физическим моделированием [11]. На приводимой блок-диаграмме (рис. 3, положение 8) показаны как взбросо-надвиги в надвигаемой плите, так и сдвиги между сегментами, и плоскость взаимодействия между литосферными плитами.

### **Пространственно-структурное положение цунамигенерирующих землетрясений**

Несмотря на низкую точность определения координат эпицентров землетрясений, приуроченность цунамигенерирующих землетрясений к хребту-барьеру и к тектонической дуге над зоной резкого изгиба Тихоокеанской плиты (рис. 1), вероятно, соответствует действительности. Вряд ли случайна приуроченность эпицентров цунамигенерирующих землетрясений к подводным горам на хребте-барьере или вблизи их (рис. 1) и к очаговым зонам роев землетрясений. Так, эпицентр землетрясения 1737 г. располагался внутри очаговых зон пяти роев землетрясений, приуроченных к подводным горам Ходуткинского и Южно-Авачинского сегментов. Эпицентр самого разрушительного цунамигенерирующего землетрясения 1952 г. располагался в юго-восточной части очаговых зон семи роев Северо-Авачинского сегмента. Эпицентр цунамигенерирующего землетрясения 1923 г. был приурочен к подводной горе Северо-Шипунского сегмента и, по-видимому, в настоящее время здесь идет накопление сейсмической энергии для следующего, вероятно, цунамигенерирующего землетрясения. Особый интерес представляет подводный хребет в пределах Южно-Кроноцкого сегмента, где в 1792 г. произошло цунамигенерирующее землетрясение ( $M = 8.4$ ). Участок этого землетрясения представлял собой зону сейсмического «молчания» внутри очаговой зоны Кроноцкого землетрясения 1997 г. По-видимому, это надвиговый блок с очень сильным сейсмическим сцеплением, за счет чего «спусковой крючок» землетрясения 1997 г. не сработал, и здесь также идет накопление сейсмической энергии. Представляется вероятным, что и рои землетрясений и, по крайней мере, некоторые цунамигенерирующие землетрясения обусловлены тектоническими движениями по плоскостям взбросо-надвиговых разрывов, в соответствии со второй плоскостью разрывов механизмов очагов землетрясений [5] и с результатами физического моделирования [11].

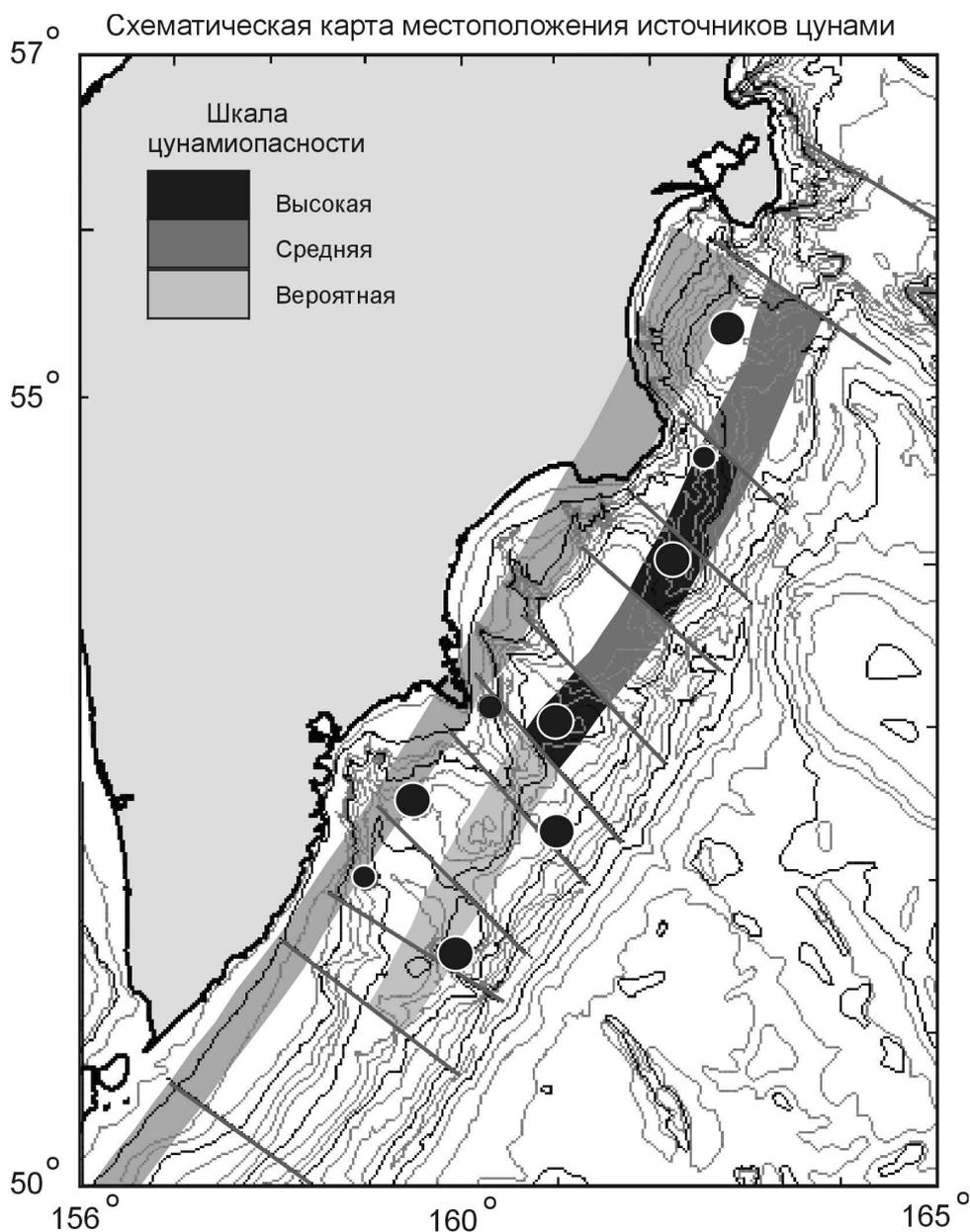


Рис. 4. Схематическая карта мест возможного зарождения цунами разной вероятности.

По предложенной модели [1] формирование взбросов и взбросо-надвиговых блоков обусловлено сильным сейсмическим сцеплением (трением) между подвигаемой Тихоокеанской и надвигаемой (нависающей) Охотской литосферными плитами. В рельефе дна взбросо-надвиговые блоки проявлены в виде хребтов-барьеров и подводных гор на этих хребтах. При срыве сильного сейсмического сцепления между Тихоокеанской и Охотской плитами, либо в пределах Охотской плиты происходит резкое движение надвигового блока с изменением рельефа дна и, соответственно, формированием цунами. При слабом сцеплении блоков с уже сформированными разрывами в надвиговых блоках происходят более частые движения, сопровождаемые роями землетрясений.

Рассмотренные данные о местоположении цунамигенерирующих землетрясений и роев землетрясений позволили дать предварительную оценку мест возможного зарождения цунами (рис. 4). Хребет-барьер на всем своем протяжении представляет опасность зарождения цунами, но наибольшую опасность представляет подводная гора, где располагался эпицентр цунамигенерирующего землетрясения 1923 г., и зона «сейсмического молчания», практически не затронутая афтершоками Кроноцкого землетрясения 1997 г. На основании ретроспективного анализа сейсмичности [2], меньшую опасность представляет зона над резким изгибом Тихоокеанской плиты (тектоническая дуга), хотя и здесь возможны участки сильных землетрясений, сопровождаемых срывом блоков и, соответственно, цунами. Наименее опасным представляется Южно-Камчатский сегмент, где отсутствует подводный хребет-барьер (рис. 1).

### **Выводы и соображения**

Рои землетрясений и эпицентры землетрясений, генерирующих цунами, приурочены к одним и тем же морфоструктурным поднятиям на континентальном склоне Восточной Камчатки, которые представляют собой взбросо-надвиговые блоки на консолидированном литосферном выступе Охотской плиты.

- Наиболее сильные подвижки и, соответственно, сильные цунами, по-видимому, происходят в начальный этап (этапы) формирования взбросового разрыва. Подвижки по уже сформированному разрыву при относительно слабом сейсмическом сцеплении могут сопровождаться роями землетрясений.
- Генерация цунами может происходить как при взбросовых подвижках, так и при сбросовом откате взбросо-надвиговых блоков.
- Вся зона хребта-барьера представляет собой опасность образования цунами при сильных землетрясениях. Наибольшую цунамиопасность представляет подводная гора к востоку от Шипунского полуострова, где в 1923 г. произошло цунамигенерирующее землетрясение (сейсмическая брешь), а также участки сейсмического молчания в очаговой зоне Кроноцкого землетрясения 1997 г.

### **Гранты и благодарности**

Мы признательны сотрудникам Камчатского филиала ГС РАН за предоставление качественных материалов по сейсмичности Камчатской зоны субдукции.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов ДВО № ДВО – 09–III–А–08–419 и РФФИ - 09-05-98591-р\_восток\_a.

### **Список литературы**

1. 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.
2. Авдейко Г.П., Палуева А.А. Сегментация камчатской зоны субдукции и оценка сейсмической активности сегментов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 1 (15). С. 231–251.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ТЕКТОНИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ РОЕВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В КАМЧАТСКОЙ ЗОНЕ СУБДУКЦИИ И ИХ ВОЗМОЖНАЯ СВЯЗЬ С ГЕНЕРАЦИЕЙ ЦУНАМИ

3. *Алексеев А.С., Гусяков В.К., Чубаров Л.Б. и др.* Численное исследование генерации и распространения цунами при реальной топографии дна. Линейная модель // Изучение цунами в открытом океане. М.: Наука, 1978. С. 4–17.
4. *Балакина Л.М., Введенская А.В., Голубева Н.А. и др.* Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений. М.: Наука, 1972. 210 с.
5. *Балакина Л.М.* Ориентация разрывов и подвижек в очагах сильных землетрясений северной и северо-западной части Тихого океана // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1979. №4. С. 43–52.
6. *Баранов Б. В., Лобковский Л. И.* О местоположении и механизме цунамигенных землетрясений Курильской островной дуги // ДАН СССР. 1981. Т. 261. № 3. С. 575–579.
7. Каталог цунами на Камчатке / Изд. Обнинск ВНИИГМИ-МЦД, 1987. 50 с.
8. *Лобковский Л.И.* Геодинамика зон спрединга, субдукции и двухъярусная тектоника плит. М.: Наука, 1988. 251 с.
9. *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.
10. *Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е.* Современные проблемы геотектоники и геодинамики. М.: Научный мир, 2004. 612 с.
11. *Лобковский Л.И., Сорохтин О.Г., Шеменда А.И.* Моделирование деформаций островных дуг, приводящих к образованию тектонических террас и возникновению цунамигенных землетрясений // ДАН СССР. 1980. Т. 255. № 1. С. 74–77.
12. 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
13. *Святловский А.Е.* Цунами. Разрушительные волны, возникающие при подводных землетрясениях в морях и океанах. М.: Из-во АН СССР. 1957, 55 с.
14. *Селиверстов Н.И.* Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М.: Научный мир, 1998. 164 с.
15. *Селиверстов Н.И.* Структура сейсмофокальной зоны Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. №1 (9). С. 10–26 ([http://www.kscnet.ru/kraesc/2007/2007\\_9/art10.pdf](http://www.kscnet.ru/kraesc/2007/2007_9/art10.pdf))
16. *Селиверстов Н.И.* Геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский: КамГУ. 2009, 191 с.
17. *Соловьев С.Л., Шебалин Н.В.* Цунами и интенсивность Курило-Камчатских землетрясений // Известия АН СССР, Серия геофизическая, 1959. № 8. С. 1195–1199.
18. *Федотов С.А.* Закономерности распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии // Тр. ИФЗ АН СССР. 1965. № 36. С. 66–93.
19. *Федотов С.А.* О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмологическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 121–150.

20. *Федотов С.А.* Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.
21. *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.
22. *Isacks B.L., Molnar P.H.* Distribution of stresses in the descending lithosphere from a global survey of focal mechanism solution of mantle earthquakes // Rev. Geoph. Space Phys. 1971. V. 9. P. 103–174.
23. *Isacks B.L., Oliver J., Sykes L.R.* Seismology and new global tectonics // J. Geoph. Res. 1968. V. 73. P. 5855–5899.
24. *Nishenko S., McCann W.* Large thrust earthquakes and tsunamis: implications for the development of forearc basin // J/ Geoph. Res. 1979. V. 84. N 2. P. 573–584.