

К СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКЕ НА ОКЕАНИЧЕСКОЙ СТОРОНЕ
ГЛУБОКОВОДНЫХ ЖЕЛОБОВ

М.Ю. Андреева¹, М.В. Родкин^{1,2}

¹ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ул. Науки 1Б, г. Южно-Сахалинск, 693022; e-mail: andreeva-mu@mail.ru

²ФГБУН Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Варшавское ш. 79, корп. 2, г. Москва, 113556; e-mail: rodkin@mitp.ru

Поступила в редакцию 4 апреля 2016 г.

Проанализированы фокальные механизмы, сейсмичность континентальной и океанической сторон глубоководных желобов по каталогам общим периодом более 100 лет.

Ключевые слова: сейсмичность, глубоководный желоб, фокальные механизмы землетрясений, напряженное состояние плиты.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что до 80 % наблюдаемых сейсмической сетью землетрясений сосредоточены в так называемом Тихоокеанском «огненном кольце», поэтому и неудивительно, что к этому региону приковано основное внимание сейсмологов. Тем не менее, даже для этого региона некоторые вопросы сейсмического режима остаются не ясными. С целью создания фактологической основы для исследования сейсмичности активных зон перехода океан–континент один из авторов в течение длительного времени участвовал в работе по составлению каталогов сейсмичности для таких зон. Результатами работ стала компиляция каталога землетрясений Курило-Камчатского региона с 1737 г. по настоящее время [2] и мирового каталога с 1904 г. на основе данных [8, 9]. Для последних пары десятков лет удалось выйти на уровень представительности каталогов $m_b \geq 3.5$ для Курило-Камчатского региона и $m_b \geq 4.0$ по общемировым данным. Одновременно нами подбирались данные по механизмам очагов, что позволяет ставить также вопрос об изучении режима напряженного состояния таких зон; данные по механизмам очагов компилировались на основе каталогов [1, 6, 7, 10].

До сравнительно недавнего времени предполагалось, что сейсмически активна только континентальная сторона переходной зоны. Данные о расположении землетрясений перед желобом, на океанической плите, многими специалистами рассматривались как недостоверные и, если были какие-либо сомнения,

даже изымались из каталогов. Основанием для такой практики являлись теоретические представления о связи землетрясений с областью непосредственного контакта различных тектонических плит и с областями современного вулканизма. Все такие области находятся с континентальной стороны глубоководного желоба. Сказывался и недостаток донных сейсмических станций на глубоководной океанической стороне зоны перехода океан–континент.

Тем не менее, постепенно стали накапливаться данные о существовании сейсмичности не только на континентальной, но и на океанической стороне зоны перехода, на океанической плите, иногда на существенном расстоянии от оси глубоководного желоба. Соответственно, встала задача выявления основных закономерностей такого рода сейсмичности. Естественно сначала поставить вопрос о выявлении эмпирических закономерностей такой океанической сейсмичности и только потом, на основе собранных данных, решать вопрос об интерпретации характера такой сейсмичности. Примеры развития областей океанической сейсмичности по данным для Курило-Камчатской и Японской переходных зон были рассмотрены в предыдущей работе авторов [3], которая базировалась в основном на данных в окрестности дублета сильных Симуширских землетрясений (15.11.2006, $M_w = 8.3$ и 13.01.2007, $M_w = 8.2$) и в очаговой области мега-землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. ($M_w = 9.0$). В этой работе было показано, что распределение землетрясений существенно неравномерно не только

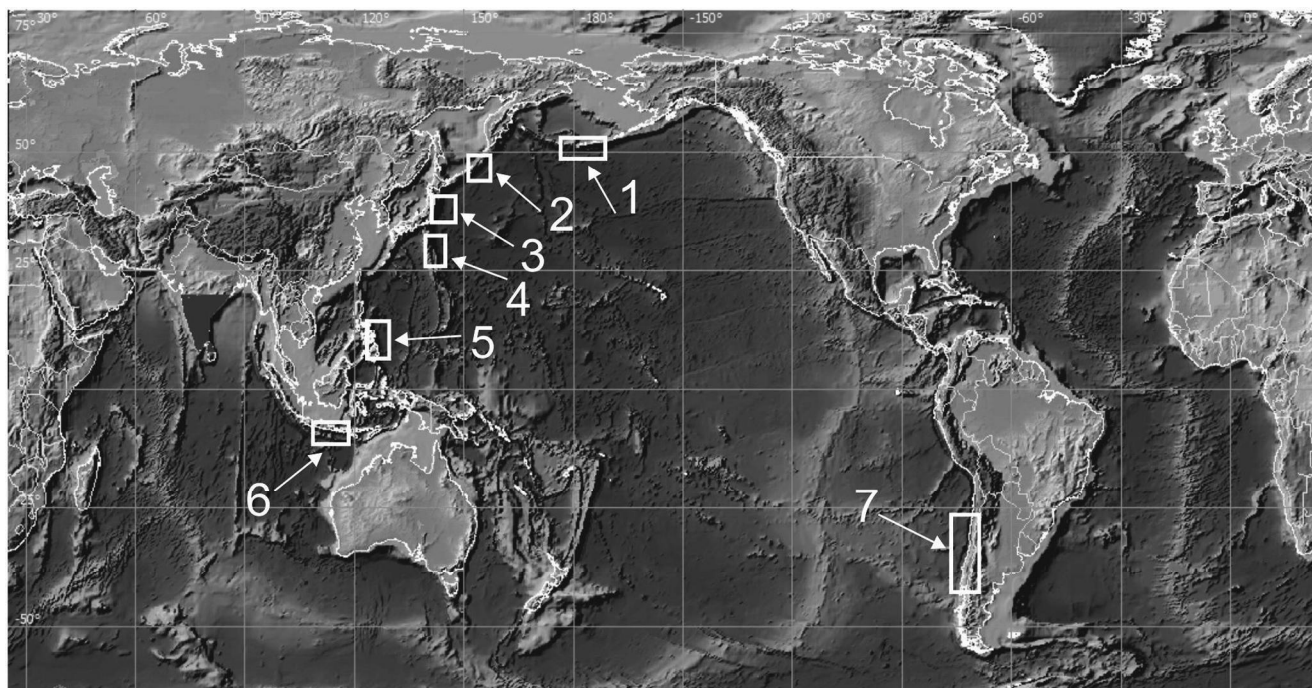


Рис. 1. Местоположение участков с повышенной активностью океанической стороны области перехода континент–океан.

1 – Алеутский желоб, 2 – Курило-Камчатский желоб, 3–4 – Идзу-Бонинский желоб, 5 – Марианский желоб, 6 – Зондский желоб, 7 – Чилийский желоб.

вдоль, но и поперек оси желоба. По данным для Симуширского роя землетрясений было выявлено сильное уменьшение числа событий вблизи оси желоба со значительной концентрацией очагов на континентальной стороне (в окрестности очага первого Симуширского землетрясения) и на океанической стороне (в окрестности очага второго Симуширского землетрясения). Такой же участок резко пониженной сейсмичности вблизи оси желоба был обнаружен и в очаговой области мега-землетрясения Тохоку. В данной работе характер сейсмичности океанической стороны переходной зоны рассмотрен на основе совокупности мировых данных, без привязки к очаговым зонам недавних сильных землетрясений.

ДАнные И РЕЗУльТАТЫ

В настоящей работе рассматривается область по 50 км в обе стороны от оси глубоководного желоба. Рассматриваются все участки мировой системы зон субдукции, где зафиксировано статистически приемлемое число землетрясений на океанической стороне зоны перехода. Была поставлена задача выявить районы, где возможно проследить продолжения сейсмичности на океанической части плит и оценить статистические тенденции расположения там очагов зем-

летрясений. Выявленные в результате участки (1–7) с повышенной активностью океанической стороны области перехода показаны на рис. 1.

На некоторых участках статистически значимые области концентрации очагов и асейсмичные области выделялись для землетрясений $m_b \geq 4.0$, для других – для событий с магнитудой $m_b \geq 4.5$ или $m_b \geq 5.0$. Мы полагаем, что такие различия связаны с разной точностью определения положения землетрясений на разных участках зон субдукции. Вертикальный профиль сейсмичности сопоставлялся с батиметрическим профилем также поперек оси глубоководного желоба. На рис. 2 представлены схемы расположения эпицентров землетрясений и вертикальные профили сейсмичности и батиметрии.

На всех участках на рис. 2 более или менее явно выделяются некие общие черты. Нас будет интересовать сейсмичность только океанической части профиля. На всех рисунках выявляются две области повышенной сейсмичности. Одна соответствует обычной зоне субдукции, другая – океанической части профиля. Эти две области, как правило, явно разделяются зоной слабой сейсмичности, расположенной вблизи оси желоба и под континентальным склоном глубоководного желоба. В

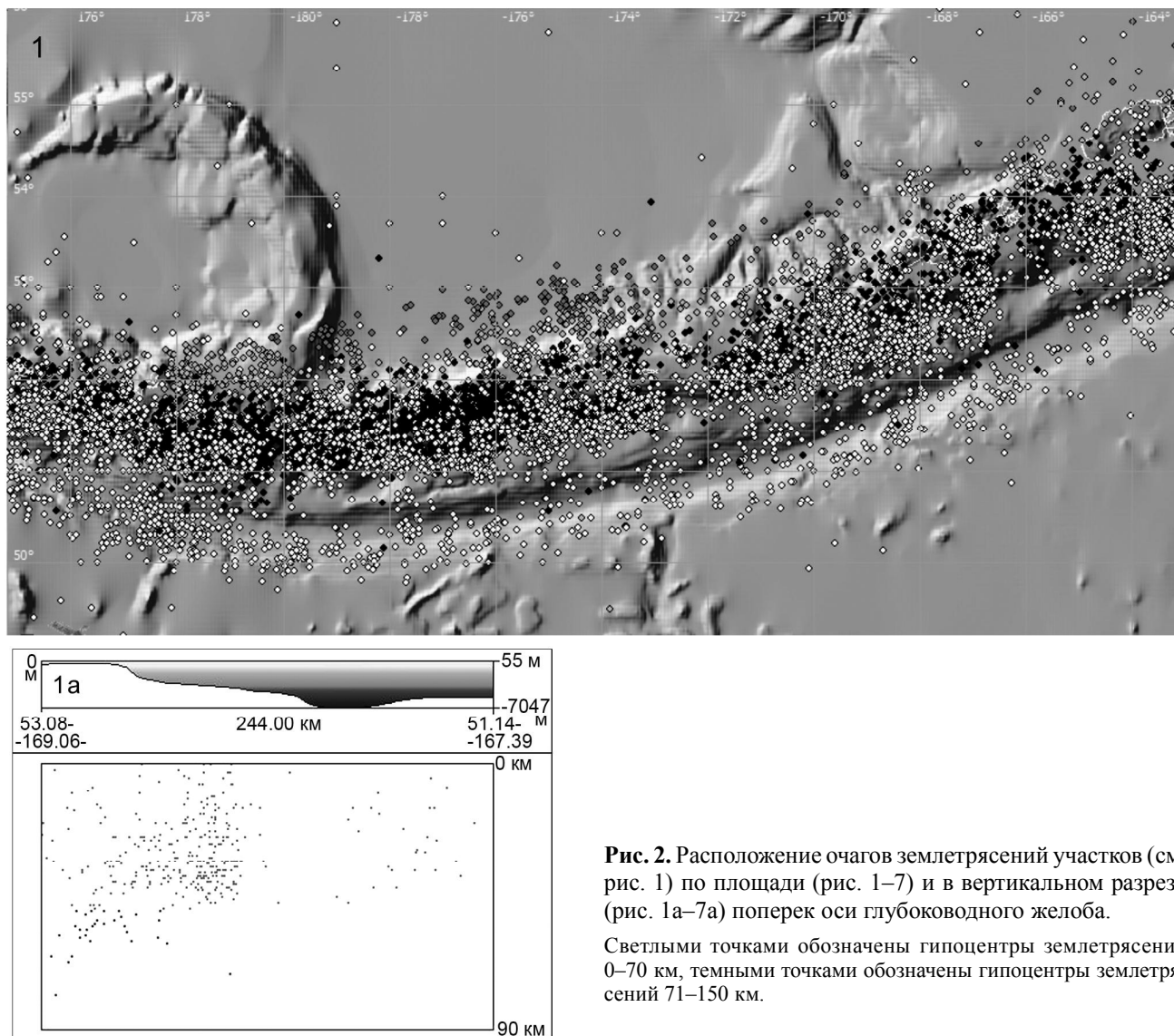


Рис. 2. Расположение очагов землетрясений участков (см. рис. 1) по площади (рис. 1–7) и в вертикальном разрезе (рис. 1а–7а) поперек оси глубоководного желоба.

Светлыми точками обозначены гипоцентры землетрясений 0–70 км, темными точками обозначены гипоцентры землетрясений 71–150 км.

одном случае (участок № 6) эта слабосейсмичная зона еще далее смещена в сторону континентального блока.

Естественно, сейсмичность океанической стороны желоба много слабее, чем континентальной. Тем не менее, и на этой стороне фиксировались достаточно сильные землетрясения. Наиболее красноречивый пример – второе Симуширское землетрясение магнитудой $M_w = 8.2$. И такой случай не единичен. Достаточно сильные землетрясения ($m_b > 6.5$) фиксировались и на других участках на океанической стороне глубоководных желобов. На Филиппинской дуге это события: 1975.10.31, 12.47 N, 126.01 E, $h = 48$, $m_b = 6.5$ и 2012.8.31, 10.81N, 126.64E, $h = 28$, $m_b = 7.2$. Для Южной Америки – это землетрясение 2010.2.27, 37.84S, 75.21W, $h = 35$, $m_b = 6.8$. Для Алеутской островной дуги – 1965.3.30, 50.32N, 177.93E,

$h = 20$, $m_b = 6.5$. Эти магнитуды вполне сопоставимы с магнитудами сильных землетрясений, имевших место на континентальной стороне зоны. На основании этих примеров представляется возможным предварительно заключить, что сейсмический потенциал океанической стороны глубоководных желобов сравним с потенциалом континентальной стороны, хотя землетрясения на океанической плите и происходят много реже.

Отметим также некоторую неоднородность в распределении очагов по глубине. В океаническом сегменте переходной зоны наблюдается концентрация очагов в интервалах глубин 10–15 км и 30–45 км. Такая локализация сейсмичности согласуется с данными по внутреннему строению океанической плиты. Так, согласно данным профильных сейсмических исследований [5], на глубинах 12–15 км выделяется сей-

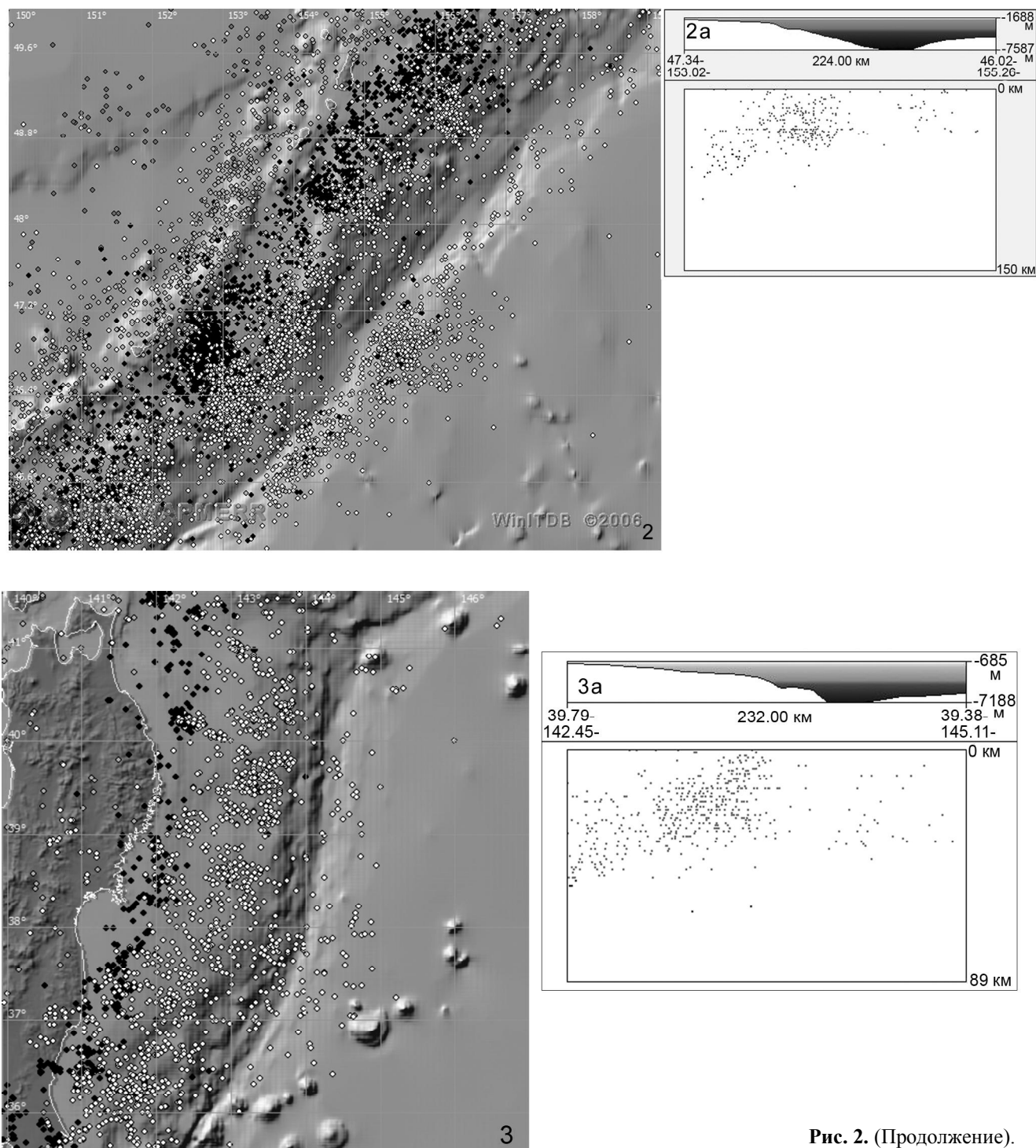


Рис. 2. (Продолжение).

смическая граница (зона «срыва»). Отметим также и тот момент, что в ряде переходных зон сейсмичность на их океанической стороне под областью развития краевого вала прослеживается до довольно больших глубин – около 100 км. Природа таких землетрясений тем более не понятна. Не исключено, что такие определения являются некорректными и связаны с неоднозначностью определения параметров гипоцентров.

Рассмотрим теперь данные по механизмам землетрясений. В характере напряженного состояния в разных участках зон субдукции также намечается значительное единообразие. На океанической стороне (в области предваряющего краевого вала) доминирует горизонтальное растяжение поперек желоба. При этом, однако, для существенно более редких более глубоких очагов здесь наблюдается сжатие поперек

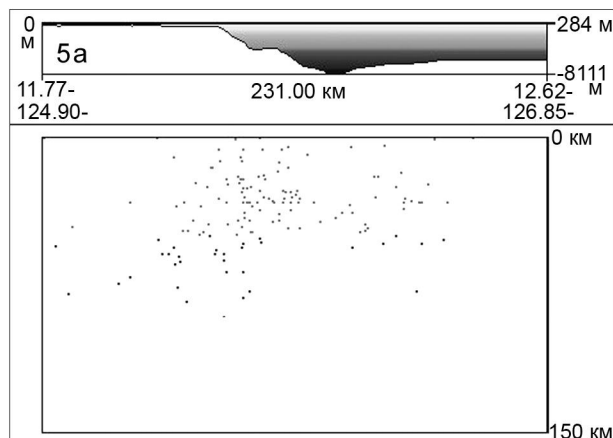
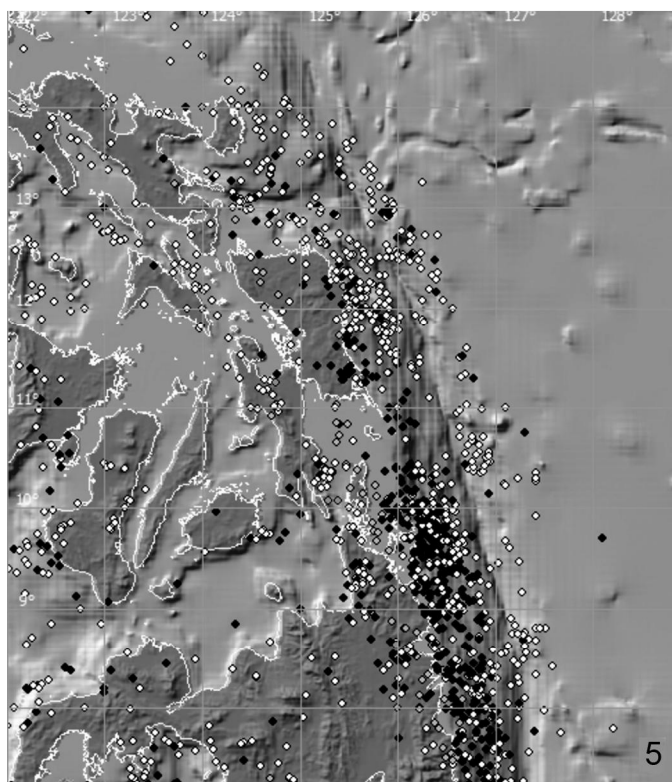
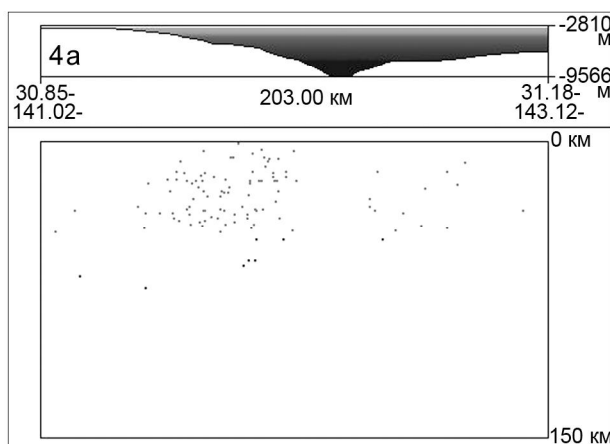
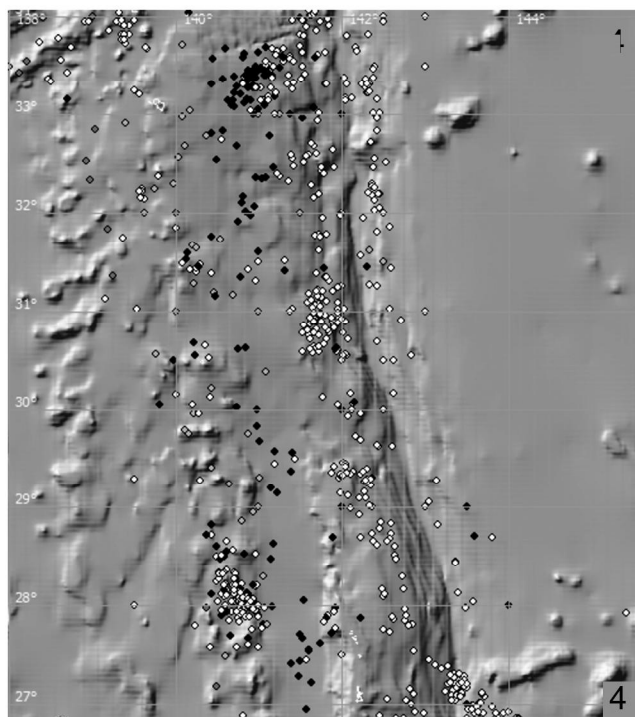


Рис. 2. (Продолжение).

желоба. В непосредственной окрестности желоба (на расстоянии всего 10–20 км от оси желоба) режим напряженного состояния довольно резко меняется (рис. 3). В желобе и далее на континентальной стороне плиты начинает доминировать типичное для зон

субдукции сжатие поперек желоба (с наклоном оси сжатия в сторону океана), при этом растягивающие напряжения направлены по падению плиты.

Как уже отмечалось в [3], выявляемый характер напряжений «до желоба» в верхней и средней ли-

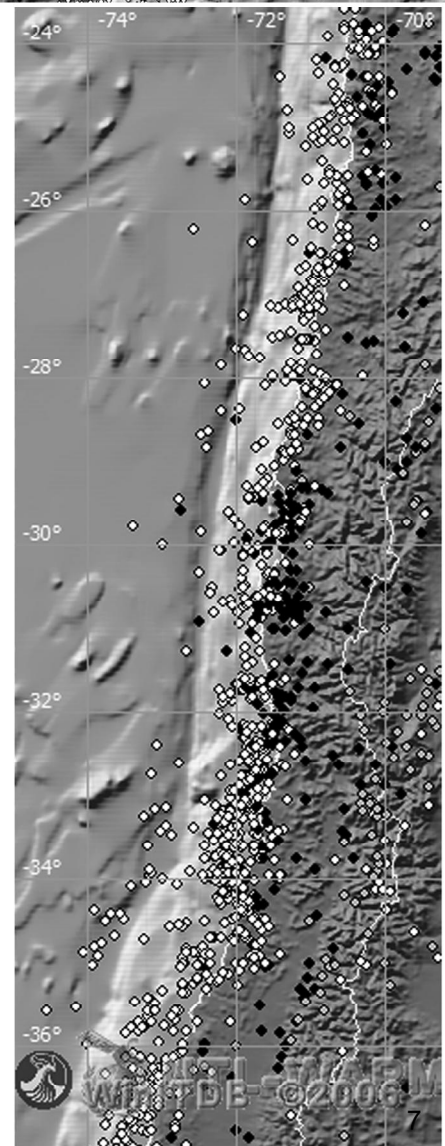
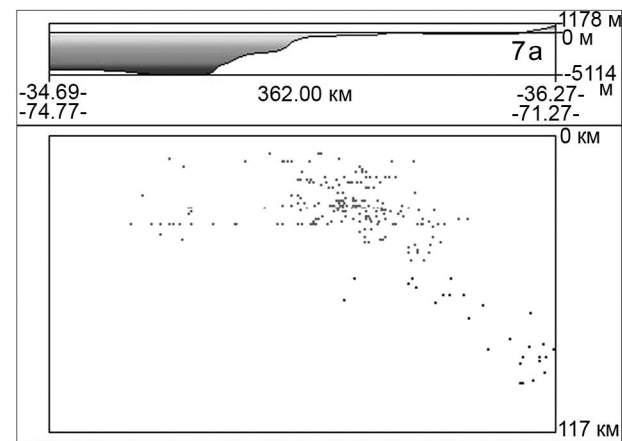
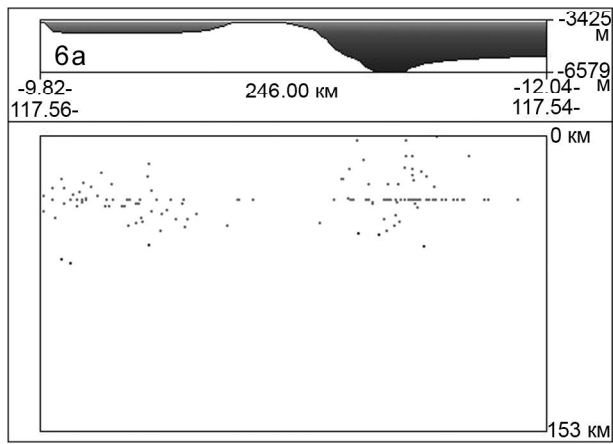
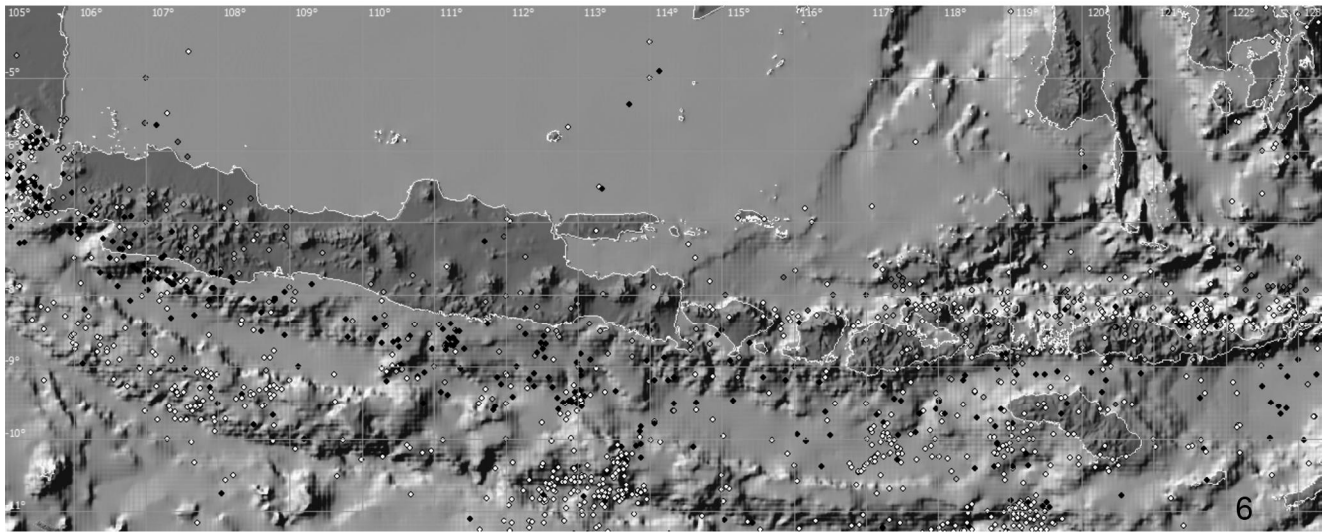


Рис. 2. (Окончание).

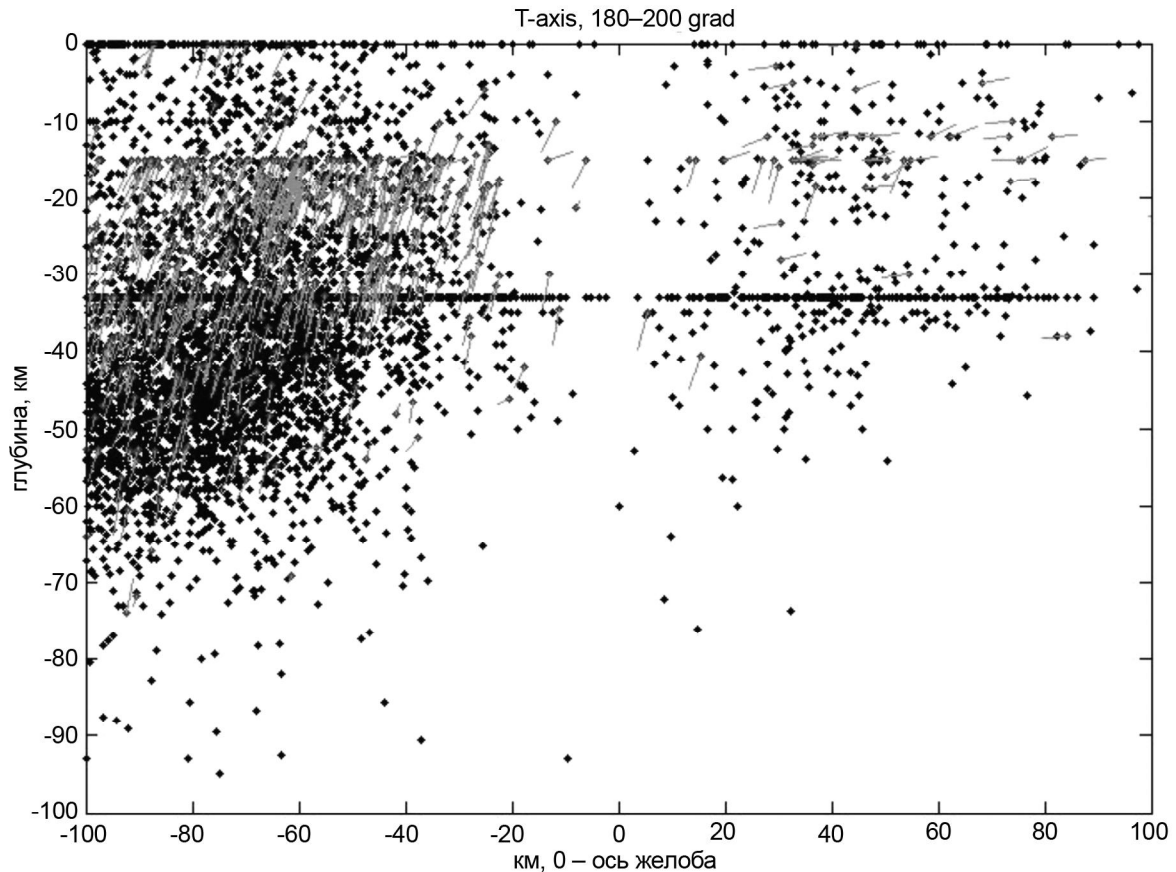


Рис. 3. Распределение землетрясений по глубине на расстоянии до 100 км от оси желоба для прямолинейного участка Алеутской зоны субдукции (180°E – 160°W).

По горизонтальной и вертикальной оси расстояния отложены в км. За 0 км принята ось желоба. Серыми отрезками даны проекции оси растяжения на плоскость профиля.

тосфере отвечает деформации океанической плиты в области краевого вала. Согласно теоретическим оценкам [4], в области краевого вала следует ожидать растяжения в верхней части плиты и сжатия в низах плиты поперек желоба. Этот характер напряженного состояния резко меняется на расстоянии около 10 км от оси желоба. Ориентация напряжений «вблизи оси желоба» аналогична таковой «после желоба» и отвечает типичному характеру напряжений в зонах субдукции. Подчеркнем, что такой характер напряжения как бы переходит через слабосейсмичную зону вблизи оси желоба, но (как уже отмечалось выше) не распространяется далее на океаническую плиту. Общий характер расположения сейсмических очагов и характер распределения напряжений в океанической части, на некотором удалении от оси желоба, по-видимому, связаны с изгибом плиты в области краевого вала. Более детальное исследование преддуговой сейсмичности пока невозможно из-за большого разброса фактических данных (чаще всего из-за отсутствия близких сейсмостанций).

ВЫВОДЫ

По совокупности данных о зонах субдукции показано существование недооцениваемой ранее зоны сейсмичности перед желобом, обычно отделяемой низкосейсмичным промежутком от основной зоны субдукции. Вследствие расположения этого слабосейсмичного участка вблизи оси желоба, сейсмичность распадается на две области – обычную зону субдукции и значительно более слабую, на океанической плите, с максимумом активности в области краевого вала. Характер напряжений в океанической плите на некотором расстоянии от желоба хорошо согласуется с теоретически ожидаемым [4] при изгибе в районе краевого вала. Судя по Симуширским (и некоторым другим, относительно более слабым) землетрясениям, океаническая сторона так же, как и континентальная сторона зоны субдукции, способна генерировать землетрясения большой магнитуды, но повторяемость океанических землетрясений значительно реже.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверьянова В.Н. Детальная характеристика сейсмических очагов Дальнего Востока. М.: Наука, 1968. 192 с.
2. Андреева М.Ю., Ким Ч.У. Землетрясения Курило-Камчатского региона (1737-2009 гг.). Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2012. 384 с.
3. Андреева М.Ю., Родкин М.В. Сеймотектоническая обстановка в океанической области глубоководных желобов // Вестн. ДВО РАН. 2013. № 3. С. 9–11.
4. Лобковский Л.И. Геодинамика зон спрединга, субдукции и двухъярусная тектоника плит. М.: Наука, 1988. 251 с.
5. Патрикеев В.Н. Атлас сейсмических разрезов северо-западной плиты Тихого океана. М.: ГЕОС, 2009. 208 с.
6. Поплавская Л.Н., Рудик М.И., Нагорных Т.В., Сафонов Д.А. Каталог механизмов очагов сильных ($M \geq 6.0$) землетрясений Курило-Охотского региона 1964–2009 гг. Владивосток: Дальнаука, 2011. 131 с.
7. Рудик М.И., Поплавская Л.Н. Каталог механизмов очагов Курило-Охотских землетрясений с $M \leq 6.0$ 1975–1982 гг. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1988. 248 с.
8. International Seismological Center. <http://www.isc.uk> (дата обращения 5.07.2015 г.).
9. National Earthquake Informational Center. <http://neic.usgs.gov> (дата обращения 25.01.2013 г.).
10. Global CMT Catalog. <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html> (дата обращения 17.07.2015 г.).

Рекомендована к печати Б.В. Левиным

M.Yu. Andreeva, M.V. Rodkin

Seismotectonics in the oceanic side of the deep trenches

Focal mechanisms of earthquakes, seismicity of the continental and oceanic sides of the deep trench areas have been analyzed using catalogs by a total period of more than 100 years.

Key words: seismicity, deep trench, focal mechanisms of earthquakes, stressed state of plate.