

**ОЧАГОВЫЕ ЗОНЫ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ СИМУШИРСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
15 НОЯБРЯ 2006 г. ($M_w = 8.3$) И 13 ЯНВАРЯ 2007 г. ($M_w = 8.1$) И ГЛУБИННОЕ
СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ СРЕДНИХ КУРИЛ**

Т.К. Злобин, А.Ю. Полец

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

Поступила в редакцию 20 января 2009 г.

Сопоставлены данные о катастрофических землетрясениях с магнитудой 8.3 и 8.1, произошедших 15.11. 2006 г. и 13.01. 2007 г., соответственно, в районе о. Симушир, с результатами наземно-морских глубинных сейсмических исследований методами ГСЗ, КМПВ, МОВЗ, МОВ в районе Средних Курил. На основе этого рассмотрены и строение земной коры, и очаговые зоны этих землетрясений. Установлено, что очаг главного толчка первого землетрясения располагался на перегибе сейсмофокальной зоны под приостровным склоном желоба на внешней стороне погружающейся литосферной плиты в резко воздымающемся гранулитно-базитовом (“базальтовом”) слое коры, заменившем на глубине 7–15 км гранулитогнейсовый слой. Сейсмическая скорость при этом возрастает с 6.4 до 7.1 км/с. Очаг второго землетрясения находился под осью глубоководного желоба. Афтершоки концентрируются в двух полосах шириной 60–120 км, вытянутых по простиранию желоба, а также в третьей зоне, ортогональной островной дуге. Устанавливается связь эпицентров землетрясений и региональных разломов. Главный толчок первого землетрясения 15.11. 2006 г. был определен как пологий надвиг, второй – 13.01. 2007 г. – как сброс.

Ключевые слова: катастрофические землетрясения, строение земной коры, сейсмофокальная зона, Курильские о-ва.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение катастрофических землетрясений, выяснение особенностей их очаговых зон (эпи- и гипоцентрии, механизмов очагов и др.), глубинного строения земной коры и верхней мантии, тектонических и геологических структур, связи между ними, строения и физических параметров среды, ее напряженного состояния имеет большое значение для понимания причин землетрясений.

Особый интерес представленной работы связан с тем, что катастрофическое Симуширское землетрясение 13 января 2007 г. и еще более мощное предшествующее сейсмическое событие 15 ноября 2006 г. произошли на выполненном нами ранее в 1983 году профиле изучения сейсмическими методами строения земной коры в районе Средних Курил и прилегающих акваторий. Исследования были проведены Комплексной сейсмической экспедицией Института морской геологии и геофизики ДВО РАН под руководством Т.К. Злобина [1, 4–6] по профилям, проложенным как вдоль Курильских о-вов: Уруп – Симушир – Расшуа, так и ортогонально островной дуге и

сейсмофокальной зоне в Охотском море и Тихом океане. Это были уникальные по сложности и информативности сейсмические исследования глубинного строения земной коры методами ГСЗ–КМПВ (в наземно-морском варианте), МОВ–НСП и МОВЗ.

Особенность происхождения данных мощнейших сейсмических событий заключается и в том, что некоторые ученые, такие как Р.З. Тараканов [13], даже высказывали мнение, что в районе Средних Курил не может быть землетрясений с магнитудой более 7.5. Это обосновывалось отсутствием здесь такого количества землетрясений, которое имелось на флангах дуги, особенностью строения среды, аномальной пластичностью вещества, где не могут накапливаться большие напряжения. Другие сейсмологи, например С.А. Федотов [15], наоборот, многие годы ожидали и предсказывали сильное землетрясение на Средних Курилах. В последние годы в районе о. Симушир самым сильным было лишь землетрясение в 1989 г. с магнитудой 6.8 [8], и до последнего времени нельзя было ответить на вопрос о возможности здесь катастрофических землетрясений.

Первое из рассматриваемых землетрясение произошло 15 ноября 2006 г. в 11 ч 14 мин 13 с, второе – 13 января 2007 г. в 4 ч 23 мин 21 с. Моментные магнитуды M_w , по оценке Сейсмологического центра Гарвардского университета (США), составили 8.3 и 8.1, соответственно. По каталогу NEIC параметры первого землетрясения были следующие: $\varphi = 46.592^\circ$ с.ш., $\lambda = 153.266^\circ$ в.д., второго – $\varphi = 46.243^\circ$ с.ш., $\lambda = 154.524^\circ$ в.д. Глубина очага составила 10 км у обоих землетрясений [16]. Для первого землетрясения 15.11.2006 г. общая протяженность сейсморазрыва по оценке, приведенной И.Н. Тихоновым и др. [14], составила $L \sim 300$ км, ширина – $W \sim 60$ км. При этом величина смещения по падению в плоскости сейсморазрыва (взброс) была $d \sim 6.7$ м. Для второго землетрясения 13.01.2007 г. параметры сейсморазрыва соответственно были: $L \sim 180$ км, $W \sim 46$ км. Величина максимального смещения (сброс) составила $d \sim 5.1$ м.

В настоящее время появилась возможность сопоставить глубинное строение земной коры и особенности катастрофических Симуширских землетрясений на основе выполненных глубинных сейсмических работ ГСЗ-КМПВ и МОВЗ на Средних Курилах в 1983 году и данных о произошедших в 2006 и 2007 годах ($M_w = 8.3$ и 8.1) землетрясениях в районе Средних Курил.

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Сейсмическими методами было отработано два ортогональных профиля. Один из них был пройден вдоль, другой – вкрест Курильской островной дуги (КОД). При этом продольный профиль длиной 270 км проложен от Урупа до Расшуа и выполнен методами ГСЗ и МОВЗ. Он проходил и вдоль о. Симушир. Второй, поперечный профиль протяженностью около 400 км был проложен из Охотского моря через Курильскую островную дугу (пересекая о. Симушир) в Тихий океан. Этот второй профиль ГСЗ, КМПВ, МОВ-НСП прямо прошел через область, которая соответствует очаговым зонам произошедших катастрофических землетрясений 2006 и 2007 годов (рис. 1).

Глубинные сейсмические исследования на Средних Курилах по профилю I (рис. 1) позволили установить особенности строения земной коры центральной части Курильской островной дуги от о. Уруп до о. Расшуа, включая более детальные наблюдения на о. Симушир (рис. 2) [4, 5]. Принципиально важным является установление того факта, что мощность земной коры под о. Симушир составила до 25–30 км, а не 17 км, как считалось ранее [12]. Было установлено, что граница, залегающая в нижнем слое

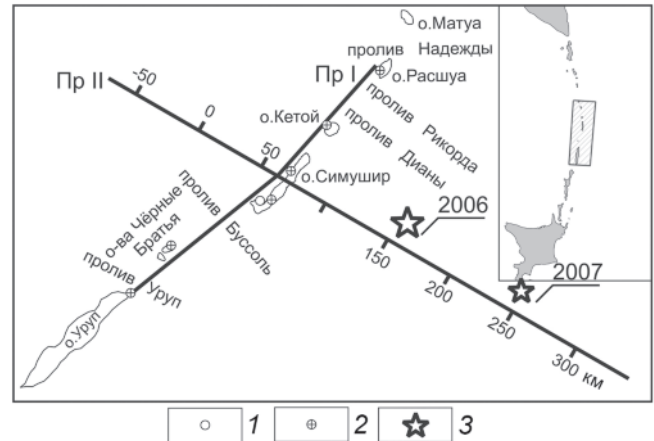


Рис. 1. Схема расположения профилей ГСЗ.

1 – сейсмическая станция “Симушир”; 2 – наземные автономные станции МОВЗ “Черепаха”; 3 – положение эпицентров землетрясений 15.11.2006 и 13.01.2007 г. Прямыми линиями показаны положение профилей ГСЗ. На врезке в рамке – район работ.

коры на глубинах 12–17 км и имеющая граничную скорость сейсмических волн (V_g), равную 7.4–7.6 км/с, может местами достигать скорости в 8.2 км/с. Это, видимо, и позволяло при предыдущих исследованиях ГСЗ [12] принять ее за поверхность М, считая, таким образом, мощность коры под островной дугой утоненной до 17 км.

Однозначное определение границы с $V_g = 8.2$ –8.4 км/с и прослеживание ее на восточном участке профиля из океана, где она являлась границей Мохо, показывает, что подошва земной коры под островной дугой (под о. Симушир на Средних Курилах) залегает на глубинах до 30 км. Это же подтверждается скоростным разрезом земной коры по профилю ГСЗ Уруп–Расшуа вдоль Средних Курил, построенным на основе модельных расчетов и выполненным позже Т.К. Злобиным и А.С. Костюкевичем [6].

Анализируя глубинный разрез вдоль профиля I Уруп–Расшуа (рис. 2), видим, что блок I, включающий северо-восточное окончание о. Уруп, одноименный пролив и о-ва Черные Братья, отличается от остальной части разреза по скоростному строению (особенно в верхней части до глубин менее 10 км).

Наиболее существенные особенности скоростного строения имеют место в блоке II. Так, в юго-западной части профиля здесь (под проливом Буссоля и южной половиной о. Симушир) скорость первоначально нарастает до глубин 10–15 км. Однако ниже по разрезу выделяется высокоскоростной слой (от 7.5 до 7.7–8.0 км/с), под которым значения скорости становятся равными 6.2–6.5 км/с.

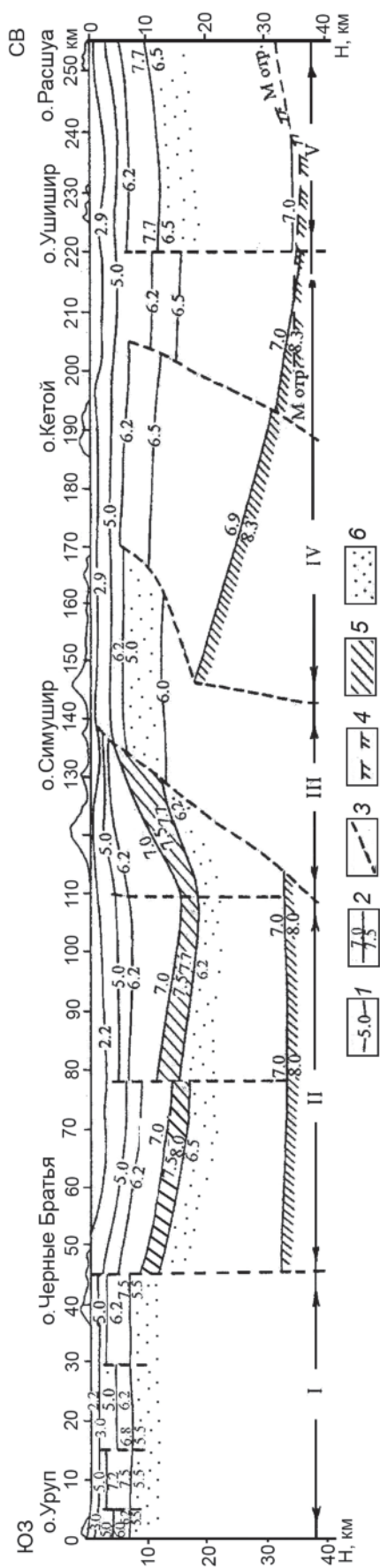


Рис. 2. Скоростной разрез земной коры по профилю I Уруп–Расшуа.

1 – изолинии скорости; 2 – сейсмические границы и значения скорости над границей и под ней, км/с; 3 – границы скоростных блоков, отождествляемые с границами структурных несогласий и разломами; 4 – поверхность Мохоровичича (М); 5, 6 – слои повышенной (5) и пониженной (6) скорости.

Блок III, расположенный в средней части о. Симушир, резко отличается от предыдущего блока. Кроме того, в нем наблюдается разрыв границы М и резкий ее подъем (взброс) на 10 км в северо-восточном крыле под ПК 150 под вулканом Прево. Под центральной и северо-восточной частью о. Симушир (ПК 140–170) подошва коры не прослеживается и строение этого блока резко отличается (аномальное). Ниже изолинии скорости $V = 6.2$ км/с на глубине более 5 км строение верхнего слоя земной коры резко меняется, отмечается инверсия и понижение скорости. Таким образом, северо-восточнее ПК 140 картина иная, чем на предыдущей части профиля. Здесь высокоскоростной слой, выявленный юго-западнее в блоке II, отсутствует. Кроме того, в блоке III в северо-восточной половине о. Симушир в верхней части коры на глубинах 6–12 км появляется низкоскоростной слой с $V = 5.0–6.0$ км/с.

В скоростном отношении строение земной коры в блоках IV и V также имеет характерные особенности. В блоке IV восточнее ПК 170 наблюдается аномально резкий подъем границы М. Здесь до конца профиля I (под островами Кетой, Ушишир, Расшуа и проливами между ними) в скоростном разрезе выделяются три разноскоростных зоны. Первая из них включает пролив Дианы и о. Кетой, вторая расположена под проливом Рикорда между островами Кетой и Ушишир, а третья – под этими островами и разделяющим их проливом Средний. Восточнее ПК 140 глубже 5 км (ниже изолинии $V = 6.2$ км/с) строение земной коры резко меняется, и вместо имевшего место высокоскоростного слоя выявлен низкоскоростной слой. На ПК 140 как по данным МОВ, ГСЗ, так и по скоростному разрезу в изолиниях скорости, устанавливается мощный наклонный глубинный разлом с падением на юго-запад.

По нашим данным, Средние Курилы, включая о. Симушир, особенно в блоке III под ПК 140–170 км, имеют резко аномальное строение коры. Заметим, что именно на траверзе этой части о. Симушир, по данным каталога NEIC, расположен гипоцентр главного толчка землетрясения 2006 года (рис. 1).

Второй наземно-морской профиль ГСЗ, длиной более 400 км, проложен по Охотскому морю и Тихому океану [1]. Он пересекает Курильскую островную дугу через о. Симушир (рис. 3). Интерпретация данных позволила нам установить следующее.

Земная кора – слоисто-блоковая, в ней выделено до 5 слоев. Геологическую интерпретацию этих глубинных разрезов мы дали с позиций общепринятой классификации, предложенной В.В. Белоусовым и Н.И. Павленковой [3], которая ранее была подтверж-

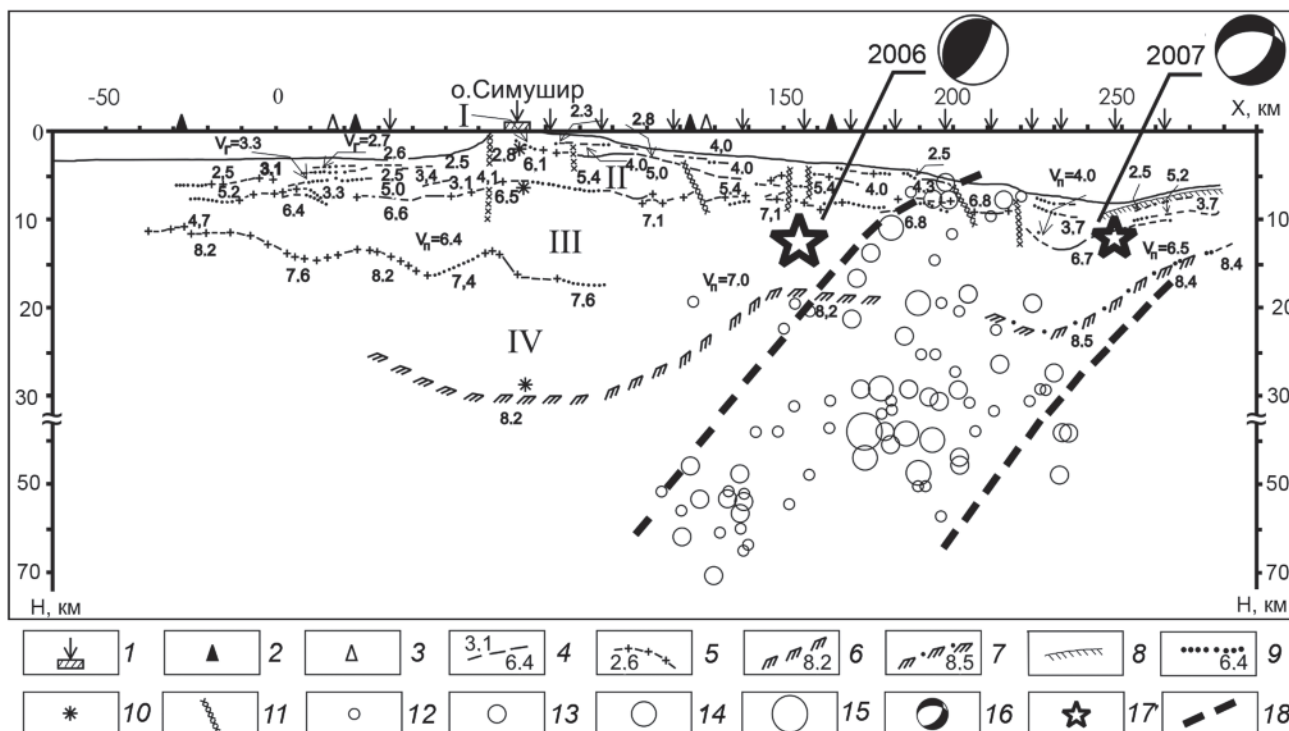


Рис. 3. Сейсмический разрез земной коры по профилю II перпендикулярно простираению о. Симушир.

1 – пункты постановки буйковых станций; 2, 3 – пункты постановки донных станций при исследованиях КМПВ (2) и ГСЗ (3); 4, 5 – преломляющие границы, построенные по данным КМПВ (4) и ГСЗ (5) (цифры сверху границы – значение эффективной скорости, снизу – значения граничной скорости); 6, 7 – поверхность Мохоровичича, построенная по результатам исследований 1983–1984 гг. (6) и 1957–1959 гг. (7); 8 – поверхность акустического фундамента океанического склона желоба; 9 – участки интерполяции преломляющих границ; 10 – глубины залегания сейсмических границ по данным ГСЗ и МОБЗ в местах пересечения с профилем I; 11 – зоны тектонических нарушений; 12–15 – местоположение на разрезе очагов землетрясений магнитуды 4.0–4.9 (12), 5.0–5.9 (13), 6.0–6.9 (14), 7.0 и более (15) за период 1910–1987 гг., согласно работе [1]; 16–17 – фокальные механизмы (16) очагов землетрясений 15.11.2006 г. и 13.01.2007 г. и положение на разрезе их гипоцентров (17); 18 – границы сейсмофокальной зоны.

дена нашими исследованиями глубинного строения Курильской островной дуги [4].

Согласно геологической интерпретации, в первый слой можно объединить осадки, залегающие в пределах акваторий от поверхности дна и имеющие мощность до 2–3 км. Скорость сейсмических волн (V) в отложениях здесь от 2.5–2.8 до 3.3–4.0 км/с. Второй, гранито-гнейсовый слой расположен на глубинах от 3 до 6–8 км. Скорость по его поверхности и в слое $V = 5.0$ –6.1 км/с (средняя – 5.4 км/с). Третий слой определяется нами, согласно вышеназванной модели [3], как гранулитогнейсовый. Кровля его выделяется на глубинах 6–8 км, а подошва – на глубинах 12–17 км. Он характеризуется скоростью по разрезу 6.4–6.6 км/с. Пластовая скорость составила 6.4 км/с, что полностью соответствует диапазону скорости в гранулитогнейсовом слое на большей части страны. Граничная скорость по подошве – 7.4–7.6 км/с. Однако в двух местах она достигает даже 8.2 км/с,

что и вызвало, видимо, в 60-е годы прошлого века его отождествление с границей М. Основной особенностью слоя можно считать то, что далее по профилю в океан он обрывается (выклинивается) на ПК 100–110. При этом восточнее по профилю на этих глубинах прослеживается поднявшийся и залегающий выше четвертый слой.

Самый нижний, гранулитогнейсовый слой залегает на глубинах от 12–17 км (под океаном) до 20–30 км (под островной дугой). Скорость по его поверхности в среднем составляет $V = 7.4$ –7.6 км/с, а скорость по подошве – 8.2 км/с. Нижней границей этого слоя является поверхность Мохоровичича, то есть подошва земной коры.

В результате можно сказать следующее. Основные структурные особенности глубинного разреза отражены в положении сейсмической границы М и поверхности гранулитогнейсового (“базальтового”) слоя, характеризующегося в среднем граничной

скоростью $V_r = 7.4-7.6$ км/с. Вышележащий гранулитогнейсовый слой в западной, Охотоморской части профиля прослеживается под о. Симушир и приостровным склоном желоба. Скорость в нем составляет $V_r = 6.4-6.5$ км/с. Он прослеживается до ПК 100. Далее к востоку (ПК 110–150) по профилю подошва земной коры и нижний гранулитобазитовый слой воздымаются. Восточнее ПК 170, в приосевой части глубоководного желоба и в океанической части, т.е. там, где профиль проходит по океанической плите, погружившейся к западу, граничная скорость по поверхности этого слоя составила 6.8–6.7 км/с, а затем этот слой выклинивается.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ С ПОЛОЖЕНИЕМ ЭПИЦЕНТРОВ ГЛАВНЫХ ТОЛЧКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Результаты глубинных сейсмических исследований в районе Средних Курил мы сопоставили с данными о вышеназванных катастрофических Симуширских землетрясениях. В результате нанесения эпицентров на схему района Средних Курил (рис. 1) было установлено, что согласно каталогу NEIC [16], главные толчки землетрясений 15.11.2006 г. и 13.01.2007 г. произошли в области построенного нами глубинного сейсмического разреза по профилю II (рис. 3). Это позволило совместно рассмотреть особенности глубинного строения земной коры (слои, рельеф и скорости в них) и положения очагов названных землетрясений.

При рассмотрении сейсмических разрезов земной коры и положения гипоцентров землетрясений надо отметить, что сейсмические данные, полученные методами ГСЗ и, тем более, КМПВ, МОВ, относительно детальны, но гипоцентры землетрясений вычисляются в сейсмологии менее точно.

Анализ данных о землетрясениях, имеющих на сегодняшний день, и результатов исследований глубинного строения земной коры Средних Курил, выполненных нами, позволяет установить следующее.

1. Гипоцентр главного толчка первого землетрясения 15.10.2006 расположен в нижнем гранулитобазитовом (“базальтовом”) слое коры. Здесь под приостровным склоном желоба на ПК 110–150 скорость по поверхности, залегающей на глубине 8 км, аномально увеличилась до 7.1 км/с против 6.4–6.7 км/с на большей части профиля.

2. В соответствии с данными каталога NEIC, гипоцентр главного толчка оказывается в зоне, ограниченной двумя коровыми разломами глубиной до 5 км. Разломы выделены по данным сейсмических исследований вдоль профиля II на ПК 150 и установлены нами ранее на границе блоков со скоро-

стью 7.1 и 6.8 км/с [1]. Над гипоцентром землетрясения подошва гранито-гнейсового слоя (скорость в котором 5.4 км/с) воздымается до 5 км с глубин 6–7 км.

3. Гипоцентр главного толчка первого землетрясения 15.11.2006 г. расположен под ПК150, восточнее которого на разрезе поверхность М круто поднимается и наблюдается резкий перегиб этой основной структурной границы.

4. Гипоцентр главного толчка второго землетрясения 13.01.2007 г. расположен на границе верхнего слоя со средней скоростью 3.7 км/с и нижнего гранулитобазитового (“базальтового”) слоя коры с $V_r = 6.7$ км/с.

5. Гипоцентр первого землетрясения 15.11.2006 г. расположен западнее приостровной границы СФЗ, второго 13.01.2007 г. – восточнее, в фокальной зоне под глубоководным желобом. Таким образом, первое землетрясение произошло под приостровным склоном глубоководного желоба, а второе – практически в его осевой части (рис. 3). Соотнося гипоцентры землетрясений с положением структурных границ в земной коре, отметим следующее: хотя определение глубины гипоцентра землетрясений и имеет относительно небольшую точность, однако, исходя из последних опубликованных в Гарвардском каталоге данных, можно сказать, что гипоцентр первого землетрясения 15.11.2006 г. расположен в нижнем слое коры, выше границы М – подошвы земной коры. Гипоцентр второго землетрясения 13.01.2007 г. расположен на границе между “базальтовым” и вышележащим слоем, эффективная скорость в котором составляет 3.7 км/с.

6. Анализ глубинного сейсмического разреза вдоль Средних Курил по профилю I Уруп–Расшуа (рис. 2) показал, что в этом продольном направлении выделяется несколько скоростных блоков. Гипоцентры землетрясений 2006 и 2007 годов находятся на траверзе аномального блока III о. Симушир, где наблюдался разрыв границы М и воздымание ее на 10 км к северо-востоку.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЭПИЦЕНТРОВ АФТЕРШОКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 15.11.2006 г. И 13.01.2007 г. И РАЗЛОМНОЙ ТЕКТОНИКИ Эпицентры афтершоков землетрясения 15.11.2006 г.

Область афтершоков главного толчка землетрясения 15.11.2006 г. за первые 10 суток имеет форму, близкую к квадрату, стороны которого имеют протяженность около 300 км. Они ориентированы по простиранию дуги и, соответственно, ортогонально ей (рис. 4а). Распределение афтершоков внутри области неравномерное. Четко выделяются две полосы их кон-

центрации, простирающие которых параллельно островной дуге. Первая к дуге полоса шириной 100–120 км расположена между островами и осью глубоководного желоба, а вторая (шириной от 60 до 120 км) расположена вдоль оси желоба. В пределах первой полосы (в юго-западной стороне) находится гипоцентр главного толчка 15.11.2006 г.

Анализ положения дальнейших толчков, произошедших в январе 2007 г., показал, что эпицентры афтершоков “образуют отдельную полосу, намечающую положение магистрального разрыва в очаге второго события” [14, с. 27].

Помимо общих очертаний и двух полос концентрации эпицентров афтершоков первого мощного землетрясения 15.11.2006 г., можно выделить отдельные линии, которые трассируют совокупности эпицентров с магнитудой около 4 и более. Они явно просматриваются и направлены веерообразно под разными углами к простираанию островной дуги.

Также выделяется небольшой боковой кластер длиной около 70 км. Он проходит от о. Расшуа (в 40–50 км северо-восточнее о. Симушир) ортогонально дуге и ориентирован в сторону первой полосы концентрации афтершоков, с которой сочленяется.

Эпицентры афтершоков землетрясения 13.01.2007 г.

Анализ карты эпицентров землетрясений главного толчка 13 января 2007 г. и афтершоков за последующие 10 суток показывает, что можно выделить несколько областей концентрации эпицентров. Уверенно выделяются три зоны (рис. 4б).

Первая зона (№ 1 на рис. 4б) представляет собой полосу шириной около 50–70 км протяженностью около 250–300 км, вытянутую в северо-восточном направлении вдоль островов на удалении от них 50–100 км. Сопоставление этой карты с рис. 4а свидетельствует о том, что небольшое количество имеющихся землетрясений этой зоны связаны с последующими толчками от первого мощного землетрясения 15.11.2006 г.

Для структурно-геологической интерпретации этой и других зон рассмотрим фрагмент тектонической схемы Охотоморского региона, составленной В.В. Харахиновым [10], на которой приведены региональные разломы и мегасдвиги (рис. 5).

Согласно этой схеме, вдоль о. Симушир с восточной, приокеанской стороны устанавливается региональный разлом, расположенный вдоль острова. Он является сегментом длиной более 100 км общей разломной структуры, протягивающейся вдоль дуги и разбитой поперечными разломами на отдельные части (сегменты). Этот продольный разлом, простира-

ние которого соответствует простираанию дуги, четко представлен и на схеме активных разломов Курило-Охотского региона М.И. Стрельцова и В.С. Рождественского [9]. Восточнее о. Симушир и этого разлома под акваторией Тихого океана на расстоянии 100–120 км выделяются еще две разломные зоны, простирающие которых соответствует простираанию островной дуги и глубоководного желоба. Нам представляется, что именно с ними и связано первое катастрофическое землетрясение 15.11.2006 г. (рис. 4а).

Помимо этого, М.И. Стрельцов и В.С. Рождественский [9] выделяли разломы с неустановленным характером смещения, а также предполагаемые и скрытые разломы к востоку от о. Симушир, в пределах приостровного склона Курило-Камчатского желоба (рис. 6), то есть там, где находятся области афтершоков землетрясений 15.11.2006 г. и 13.01.2007 г. Эти предполагаемые разломы рисовались ими веерообразно от средней части о. Симушир к востоку под близвертикальными углами.

Детальное рассмотрение распределения эпицентров афтершоков землетрясения 15.11.2006 г. показало следующее. Несмотря на существующую погрешность определения эпицентров, в целом можно провести ряд линий локализации эпицентров, которые, возможно, трассируют глубинные разломы, расположенные к востоку от о. Симушир, а также о. Расшуа и о. Матуа (рис. 4а).

Зона № 2 на рис. 4б является практически ортогональной первой зоне. Ширина ее – около 60 км. Юго-западная граница этой зоны проходит на траверзе центральной части о. Симушир, а северо-восточная – на траверзе о. Кетой и пролива Дианы, разделяющего эти острова. В связи с этим, уместно обратиться к ранее приведенному разрезу земной коры ГСЗ вдоль острова Симушир (рис. 2). На этом разрезе показано, что в средней части острова выделяется блок III, резко отличный по строению от юго-западной половины острова. В этом блоке наблюдается разрыв границы М и северо-восточнее ее резкий подъем (взброс) на 10 км, а подошва коры не прослеживается. Строение этого блока аномальное. Это выражается в резком изменении строения верхнего слоя земной коры. Можно полагать, что эта аномальная зона (структура), секущая о. Симушир, имеет продолжение. Она, возможно, проявляется в сейсмичности полосы афтершоков № 2 и связана с главным толчком первого катастрофического землетрясения 15.11.2006 г.

На юго-востоке поля афтершоков землетрясения 13.01.2007 г. выделяется зона № 3. Она является основной на данной схеме (рис. 4б). Обычно область афтершоков имеет эллипсообразную или концентрическую форму. Это было показано и при изучении

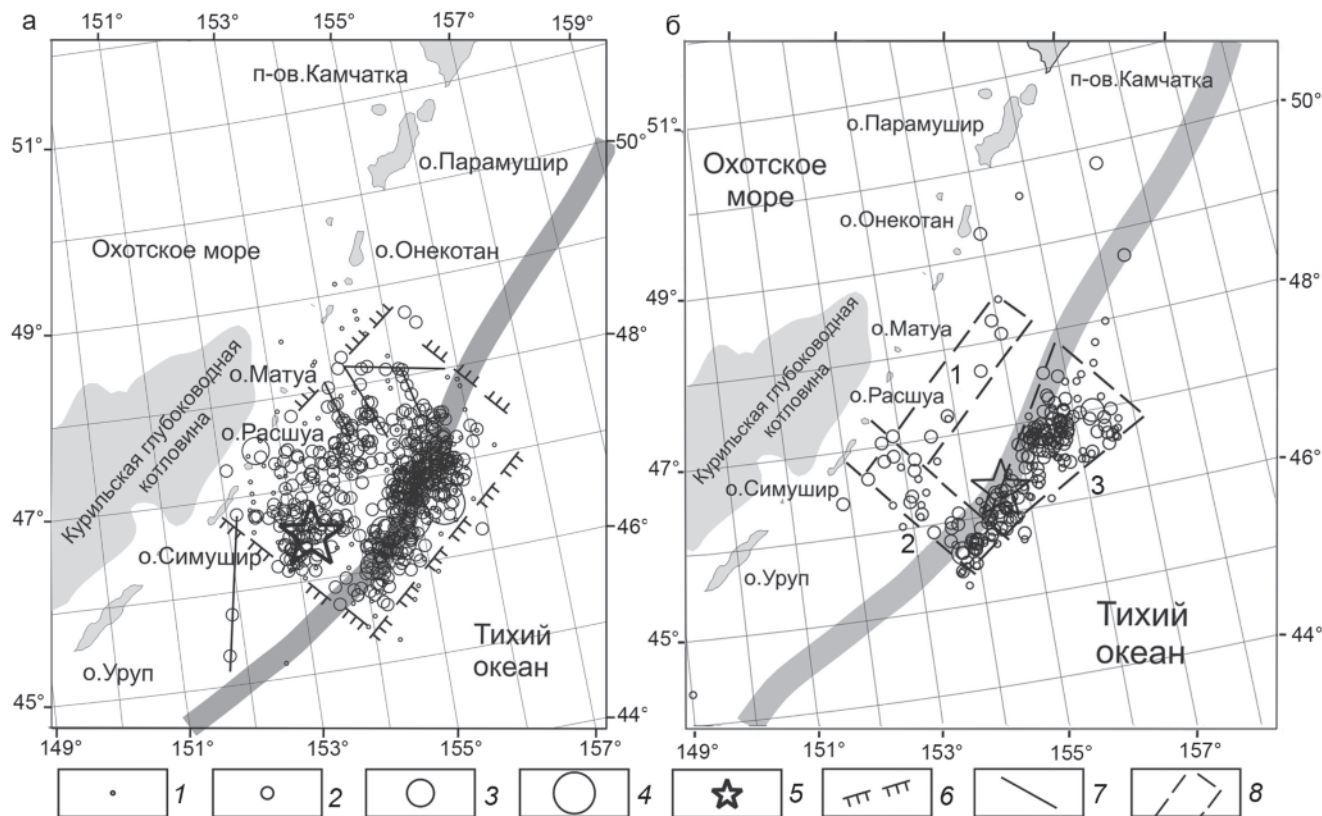


Рис. 4. Главный толчок и афтершоки за последующие 10 суток после землетрясения 15.11.2006 (а) и 13.01.2007(б), по [16].

1–4 – эпицентры землетрясений разной магнитуды: $4.4 \leq M < 5.79$ (1), $5.8 \leq M < 6.39$ (2), $6.4 \leq M < 7.39$ (3), $7.4 \leq M < 8.3$ (4); 5 – эпицентры землетрясений 15.11.2006 г. и 13.01.2007 г.; 6 – предполагаемые границы зоны афтершоков в течение 10 суток после землетрясения 15.11.2006 г.; 7 – линии концентрации эпицентров землетрясений, возможно трассирующие тектонические нарушения; 8 – зоны концентрации эпицентров землетрясений и их номера. Серая полоса – ось глубоководного желоба.

афтершоков сильных землетрясений Сахалина и Курил [7]. Однако карта эпицентров афтершоков второго Симуширского землетрясения 13 января 2007 г. в этом отношении оказалась отличной от них и необычной. Отличает ее то, что она имеет явно выраженную треугольную форму, вытянутую вдоль простирания Курило-Камчатского желоба в северо-восточном направлении. Основание треугольника – около 150 км, длина – 300 км.

Таким образом, анализ поля афтершоков землетрясений 15.11.2006 г. и 13.01.2007 г. показал возможность их структурирования, выделения различных зон и связи их с разрывной тектоникой.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2006 И 2007 гг.

Рассмотрение механизмов очагов землетрясений, приведенных в NEIC [16], (табл.) и на рис. 3, показало следующее. Из предварительной оценки меха-

низмов очагов главных толчков землетрясений 2006 и 2007 гг. по горизонтальным косейсмическим смещениям земной поверхности, выполненной И.Н. Тихоновым и др. [14], следует, что первое из них может соответствовать взбросу, второе – сбросу.

Согласно нашей интерпретации механизмов очагов этих землетрясений и оценке Сейсмологического центра Гарвардского университета (США), главный толчок землетрясения 15.11.2006 г. может быть определен как “thrust fault” – пологий надвиг. То есть это разлом с падением менее 45° , в котором висячее крыло смещается вверх относительно лежащего крыла и надвигается на него. Характерной чертой надвига, как известно, является преимущественно горизонтальное сжатие, а не вертикальное смещение. Главный толчок второго землетрясения, 13.01.2007 г., определен как normal fault, т.е. нормальный сброс. Это, как известно, разлом, у которого висячее крыло смещается вниз по отношению к лежащему. Угол падения сброса обычно

Таблица. Механизмы очагов землетрясений 15.11.2006 и 13.01.2007 г.

№ п/п	дата д.мес. г	t ₀ , ч-мин-с	h, км	M	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
					T		N		P		NP1			NP2		
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
1	15.11.2006	11-14-13	10	8,3	60	302	00	33	30	123	214	15	92	33	75	90
2	13.01.2007	04-23-21	10	8,1	10	150	21	56	67	264	263	40	-57	42	58	-114



Рис. 5. Фрагмент тектонической схемы Охотоморского региона, составленной В.В. Харахиновым [10].

1 – мегасдвиги; 2 – региональные разломы.

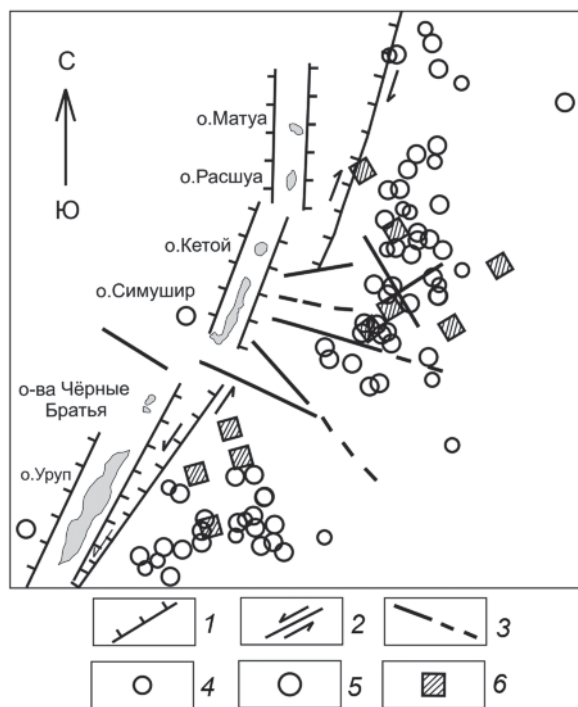


Рис. 6. Фрагмент карты активных разломов Курило-Охотского региона, Приморья и Приамурья М.С. Стрельцова, В.С. Рождественского, по данным из работы [9].

1 – сбросы; 2 – сдвиги; 3 – разломы с неустановленным характером смещения; 4–6 – эпицентры землетрясений с глубиной очага $H < 80$ км и магнитудой $5 \leq M < 6$ (4), $6 \leq M < 7$ (5) и $7 \leq M < 8$ (6).

составляет $50-90^\circ$. При нормальном сбросе смещение не всегда происходит вдоль линии падения сместителя, но оно всегда имеет вертикальную составляющую. Таким образом, образование первого землетрясения соответствовало обстановке преимущественного горизонтального сжатия, второго – растяжения.

Исходя же из модели субдукции Тихоокеанской литосферной плиты под островную дугу, можно сказать, что первое землетрясение произошло как бы над кровлей погружающейся литосферной плиты (в приостровной части сейсмофокальной зоны). Гипоцентр второго землетрясения, 13.01. 2007 г., согласно данным NEIC, находился под осью глубоководного желоба в восточной части СФЗ. Учитывая глубину его гипоцентра по данным вышеназванного источника, получается, что он находился в кровле погружающейся литосферной плиты.

В таком случае, при субдукции Тихоокеанской плиты на запад ее верхняя, внешняя сторона в области изгиба должна была испытывать преимущественное растяжение, а внутренняя приокеаническая часть плиты – сжатие. Отметим также высказывание Н.В. - Короновского и М.Г. Ломизе: “Характерно растяжение близ кровли и сжатие в ее средней части, что

объясняют изгибом литосферы перед ее погружением в зоне субдукции” [11, с. 358].

В связи с этим интерес представляют данные исследований механизмов землетрясений в центральной части Курило-Камчатской зоны в районе о-вов Расшуа и Симушир. На рис. 7 показаны механизмы очагов землетрясений в вертикальном сечении, проходящем вкост желоба вблизи о. Симушир, согласно работе Као и Чена (Као Н., Chen W.-P) [17]. Отметим, что ближе к кровле погружающейся плиты приурочены механизмы взрезового (поддвигового) типа, определяющие положение оси сжатия снимаемых напряжений погружающейся литосферной плиты. Для срединной части плиты (подошва коры) ха-

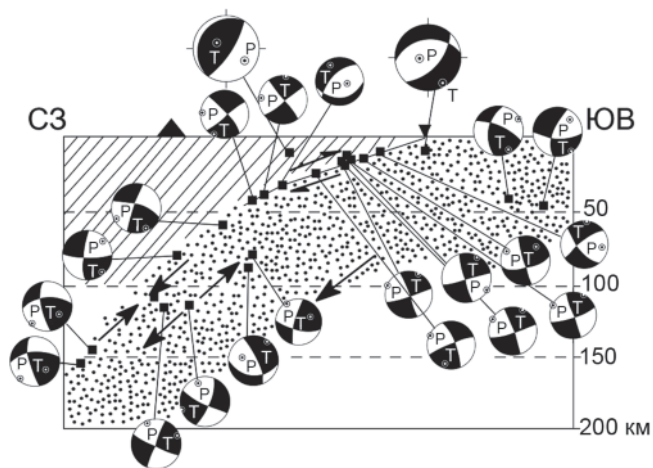


Рис. 7. Верхняя часть Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны в районе островов Расшуа и Симушир с положением гипоцентров и механизмами очагов землетрясений, по Као Н., Chen W.-P. из работы [17].

Штриховкой показана континентальная литосферная плита, точками – субдуцирующая океаническая плита, черным треугольником показана ось глубоководного желоба. Механизмы показаны в проекциях на вертикальные сечения вкrest оси желоба. Большими размерами даны стереограммы механизмов землетрясений 15.11.2006 г. и 13.01.2007 г.

рактерны механизмы сбросового типа, дающие положение оси растяжения снимаемых напряжений (Т) вдоль погружения плиты.

В самой верхней части погружающейся океанической плиты вблизи оси желоба механизм взбросового типа определяет положение одной из нодальных плоскостей параллельно кровле плиты. Сбросовые механизмы наблюдаются в противоположном от желоба участке океанической плиты. Именно это различие в типах механизмов проявилось в очагах рассматриваемых катастрофических землетрясений восточнее Средних Курил.

В свете вышеприведенных данных о двух рассматриваемых Симуширских землетрясениях можно сказать следующее. Рассмотрение результатов исследований механизмов в очаге Симуширского землетрясения 13.01.2007 г. показало, что оно может определяться как сброс, а, как известно, сейсмодислокации такого типа указывают на обстановку растяжения, что полностью соответствует вышеизложенному.

Механизм землетрясения, произошедшего 15.11.2006 г., на основе определений Сахалинского филиала ГС РАН, а также по оценке Сейсмологического центра Гарвардского университета (США) может быть определен как пологий надвиг (рис. 7).

Ранее Л.М. Балакина [2] отмечала, что напряжения сжатия в Курило-Камчатской сейсмофокальной

зоне на глубинах $h \leq 100$ км ориентированы преимущественно под малыми углами к горизонту и вкrest простирания основных тектонических структур. Это говорит о наличии субгоризонтальных перемещений вещества в верхних частях СФЗ, следовательно, о возможности пологих надвигов. Можно добавить, что, по предварительным данным И.Н. Тихонова и др. [14], механизм первого землетрясения определен даже как взброс. Как известно, оба этих типа сейсмодислокаций связаны с обстановкой сжатия.

ВЫВОДЫ

На основе исследований катастрофических землетрясений 15.11.2006 г. и 13.01.2007 г., произошедших в районе Средних Курил к востоку от острова Симушир, их афтершоков, положения главных толчков и механизмов, а также глубинного строения и разрывной тектоники можно заключить следующее.

1. Гипоцентр главного толчка первого землетрясения 15.11.2006 г. расположен под приостровным склоном желоба в резко воздымающемся гранулитобазитовом (“базальтовом”) слое коры, который на глубинах от 7 до 15 км и более заменил находившийся западнее третий гранулитогнейсовый слой. Соответственно, сейсмическая скорость здесь существенно увеличилась от 6.4–6.5 км/с до 7.1 км/с.

2. Над гипоцентром главного толчка землетрясения 15.11.2006 г. сейсмическими исследованиями установлены коровые разломы и подъем сейсмических границ, а ниже – резкий подъем границы М к востоку в сторону океана.

3. Очаг землетрясения 15.11.2006 г. расположен в области западной, внешней стороны сейсмофокальной зоны на ее перегибе. Второй очаг 13.01.2007 г. находится под осью глубоководного желоба.

4. Резкое изменение глубины залегания подошвы земной коры (границы М) под центральной и восточной частью о. Симушир, взброс на 10 км, возможно, связаны с глубинным разломом, секущим островную дугу, продолжающимся на восток в сторону океана. Видимо, с ним, а также с другими разломами связаны рассмотренные землетрясения, гипоцентры главных толчков которых расположены на траверзе этого поперечного разлома.

5. На картах эпицентров афтершоков за 10 суток после главного толчка землетрясений 15.11.2006 г. и 13.01.2007 г. выделяются две полосы концентрации эпицентров шириной от 60 до 120 км, вытянутые параллельно островной дуге и глубоководному желобу, а также третья зона, ортогональная простиранию о. Симушир. Установлено соответствие в целом зон концентрации эпицентров афтершоков региональным разломам восточнее Средних Курил.

6. Исследования механизмов главных толчков землетрясений 15.11. 2006 г., 13.01. 2007 г. показали, что первое являлось пологим надвигом, второе – сбросом, что говорит об обстановке сжатия в первом случае и растяжения – во втором. Сопоставление этих данных с вычислениями механизмов очагов других землетрясений в районе Средних Курил, анализ их положения представляет большой интерес для разработки модели образования сейсмофокальной зоны, в том числе механизма субдукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аносов Г.И., Аргентов В.В., Петров А.В. и др. Новые сейсмические данные о строении земной коры центрального звена Курило-Камчатской островной дуги // Тихоокеан. геология. 1988. № 1. С. 10–18.
2. Балакина Л.М. Механизм очагов промежуточных землетрясений Курило-Камчатской фокальной зоны // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1981. № 8. С. 3–24.
3. Белоусов В.В., Павленкова Н.И. Типы земной коры // Геотектоника. 1985. № 1. С. 3–14.
4. Злобин Т.К. Строение земной коры и верхней мантии Курильской островной дуги (по сейсмическим данным). Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 150 с.
5. Злобин Т.К., Пискунов Б.Н., Фролова Т.И. Новые данные о строении земной коры центральной части Курильской островной дуги // Докл. АН СССР. Т. 293, № 2. 1987. С. 185–188.
6. Злобин Т.К., Костюкевич А.С., Злобина Л.М. Структура земной коры Средних Курил по данным сейсмического моделирования // Тихоокеан. геология. 1998. Т. 17, № 2. С. 115–121.
7. Злобин Т.К. Динамика сейсмического процесса и строение очаговых зон сильных землетрясений Сахалина и Курил // Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2005. 141 с.
8. Поплавская Л.Н., Бобков А.О., Бойчук А.А. и др. Симуширское землетрясение 9 января 1989 года. (Препринт) Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1991. 54 с.
9. Стрельцов М.И., Рождественский В.С. Активные разломы Курило-Охотского региона, Сахалина, Приморья и Приамурья // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. М.: ОИФЗ РАН, 1995. Вып. 2-3. С. 387–407.
10. Структура и динамика литосферы и астеносферы Охотоморского региона / В.В. Харахинов, И.К. Туезов, В.А. Бабошина и др., М.: Национальный геофиз. ком. РАН, 1996. 337 с.
11. Короновский Н.В., Ломизе М.Г. Концепция глубинных разломов и тектоника плит // Фундаментальные проблемы общей тектоники / Под. ред. акад. Ю.М. Пушаровского. М.: Науч. мир, 2001. С. 344–373.
12. Косминская И.П., Зверев С.М., Вейцман П.С. и др. Основные черты строения земной коры Охотского моря и Курило-Камчатской зоны Тихого океана по данным ГСЗ // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1963. № 1. С. 20–41.
13. Тараканов Р.З., Бобков А.О. Зоны возможных очагов землетрясений Курило-Охотского региона // Проблемы сейсмической опасности дальневосточного региона. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. 240 с.; Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Т. VI. С. 94–110.
14. Тихонов И.Н., Василенко Н.Ф., Прытков А.С. и др. Катастрофические Симуширские землетрясения 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. // Проблемы сейсмобезопасности Дальнего Востока и Восточной Сибири: Междунар. науч. симпоз. (Южно-Сахалинск, Россия, 27–30 сент. 2007 г.): Тез. докл. / Отв. ред. И.Н. Тихонов, А.В. Коновалов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007. С. 27–28.
15. Федотов С.А., Чернышев С.Д. 20 лет долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги: достоверность в 1981–1985 гг. в целом за 1965–1985 гг. и прогноз на 1986–1990 гг. // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 93–109.
16. <http://neic.usgs.gov>
17. Kao H., Chen W.-P. Transition from interplate slip to double seismic zone along the Kuril-Kamchatka arc // J.Geophys. Res. 1995. V. 100, N B7. P. 9881–9903.

T.K. Zlobin, A.Yu. Polets

Catastrophic Simushir earthquakes of November 15, 2006 ($M_w=8.3$) and of January 13, 2007 ($M_w=8.1$), and deep structure of the Middle Kurils Earth's crust

The catastrophic earthquakes with magnitudes of 8.3 and 8.1 which occurred on November 15, 2006 and January 13, 2007 in the region of Simushir Island were compared with the results of land-and-marine deep seismic research by DSS, correlation refraction method, method of converted waves of earthquakes and seismic reflection method in the region of the Middle Kuril arc. The structure of the Earth's crust and focal zones of these earthquakes was considered based on the research. The focus of the main shock of the November 15, 2006 earthquake was established to be located on the bend of the seismofocal zone beneath the near-insular trench slope on the outer side of the subsiding lithospheric plate in the sharply uplifted granulite-basite ("basaltic") crustal layer that replaced the granulite-gneiss layer at a depth of 7-15 km. Incidentally, the seismic velocity increased from 6.4 km/sec to 7.1 km/sec. The source of the January 13, 2007 earthquake was located under the deep-sea trench axis. Aftershocks were concentrated in two bands of 60-120 km wide stretching along the trench strike, and also in the third zone – an orthogonal island arc. The relation between the earthquake epicenters and regional faults is established. The main shock of the November 15, 2006 earthquake was defined as a low-angle thrust fault; and the main shock of the January 13, 2007 earthquake, as a normal fault.

Key words: catastrophic earthquakes, Earth's crust structure, seismofocal zone, Kuril Islands.