

## Мелкофокусная сейсмичность в тылу Японо-Сахалинской островной дуги и ее возможная тектоническая природа

© И. Н. Тихонов, В. А. Ломтев, 2014

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,  
Южно-Сахалинск, Россия

Поступила 16 апреля 2013 г.

Представлено членом редколлегии Ю. М. Вольфманом

За результатами аналізу даних різних сейсмологічних зведень по западині Японського моря вперше підготовлений найбільш повний уніфікований каталог землетрусів з магнітудою  $M \geq 3,0$  і глибиною  $h \leq 60$  км за 1975—2010 роки. Побудовано карти епіцентрів подій для чотирьох інтервалів (0—10, 11—20, 21—30 і 31—60 км) глибин вогнищ, а також три субширотні розрізи. Розглянуто особливості будови і можлива тектонічна природа сейсмоактивної зони вздовж підводної окраїни, або бордерленд, Японо-Сахалінської островної дуги: регіональний підкид, точніше мегадуплекс розломів стиснення, зумовлений сповзанням кори в тилу фронтального глибинного насування.

**Ключові слова:** Японське море, каталог землетрусів, розподіл гіпоцентрів, Японо-Сахалінська дуга, тектоніка земної кори, підводна окраїна, тиловий підкид.

**Введение.** Японо-Сахалинская островная дуга расположена в пределах Тихоокеанского сейсмического пояса, в котором происходит более 80 % землетрясений Земли, в том числе большая часть катастрофических событий. Дуга отделяет впадину окраинного Японского моря, основного объекта исследований в настоящей работе, от впадины Тихого океана (рис. 1). На тихоокеанской окраине входящей в нее дуги Хонсю (Тохоку, или северо-восток Японии) сейсмическая активность достигает максимального для Земли уровня. Это связано с тем, что большинство сейсмических событий здесь приурочено к встречным сейсмофокальным зонам Бенюфа и Тараканова, маркирующим границу Амурской (Евразия) и Тихоокеанской литосферных плит [Wei, Seno, 1998]. Именно здесь возникают сильнейшие землетрясения, которые зачастую сопровождаются цунами. Такие катастрофические природные явления приводят к колоссальным разрушениям и множеству человеческих жертв. Ярким примером тому служит Токоху землетрясение 11.03.2011 г. ( $M = 9,0$ ), воз-

никшее на тихоокеанской окраине о-ва Хонсю. Оно породило гигантские волны цунами высотой более 10—20 м, которые, в свою очередь, привели к небывалой по масштабам техногенной катастрофе на прибрежной АЭС "Фукусима-1" [Тихонов, Ломтев, 2011]. Уровень мелкофокусной сейсмичности в Японском море несколько ниже, но все же достаточно велик, особенно вблизи его восточного побережья, где регулярно происходят сильные землетрясения. Только за последние полвека здесь были зарегистрированы и достаточно хорошо изучены такие разрушительные землетрясения, как Ниигатское 1964 г. ( $M = 7,5$ ), Монеронское 1971 г. ( $M = 7,5$ ), Япономорское 1983 г. ( $M = 7,7$ ), Окусирское 1993 г. ( $M = 7,8$ ) и Невельское 2007 г. ( $M = 6,2$ ). Объясняется это приуроченностью данных землетрясений к границе Амурской и Охотской плит между Ниигатой (о-в Хонсю) и севером о-ва Сахалин (см. врезку на рис. 1 [Wei, Seno, 1998; Василенко, Прытков, 2012]).

Изучение сейсмичности морей имеет свою специфику по сравнению с исследованием сейс-

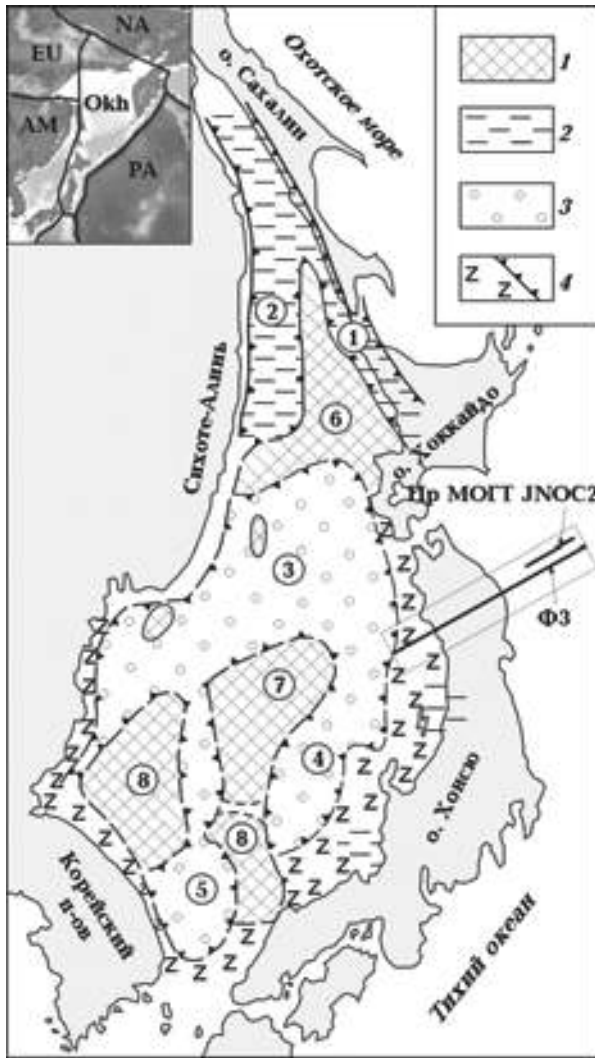


Рис. 1. Схема распространения главных структурных элементов дна Японского моря [Антипов, 1987]: 1 — области поднятий; 2 — эпиконтинентальные прогибы; 3 — глубоководные депрессии; 4 — флексурно-разрывные зоны и их границы; отрицательные структуры (цифры в кружках): 1 — Западно-Сахалинский прогиб; 2 — Татарский прогиб; 3 — Центрально-Япономорская депрессия; 4 — депрессия Хонсю (Ямато); 5 — депрессия Цусима (Уллындо); поднятия и зоны поднятий: 6 — Южно-Татарская; 7 — Ямато; 8 — Южно-Япономорская. ФЗ — разрез микроземлетрясений фокальных зон Бенюфа и Тараканова на севере о-ва Хонсю (см. рис. 5, а), зарегистрированных сейсмографами университета Тохоку между 39° и 40° с. ш. (прямоугольник) с ноября 1976 по апрель 1977 г. [Hasegawa et al., 1979]. ПР МОГТ JNOC2 — положение сейсмопрофиля МОГТ (метод общей глубинной точки) на тихоокеанской окраине дуги Хонсю, отработанного вдоль бурового геотраверса "Гломар Челленджер" (рис. 5, б).

На врезке: схема литосферных плит [Wei, Seno, 1998]: NA — Северо-Американская, EU — Евразийская, AM — Амурская, PA — Тихоокеанская, Okh — Охотская.

мичности на суше. Для морских акваторий каталоги менее полны, а точность локализации гипоцентров толчков, в общем, ниже, чем на суше. Участки морского дна труднодоступны для сейсмогеологических исследований. Уровень сейсмичности в центральных частях окраинных морей, как правило, ниже, чем на периферии. При этом отдельные участки периферии могут значительно отличаться по уровню сейсмичности как для конкретного моря, так и различных морей.

Японское море — объект, хорошо изученный с помощью геолого-геофизических методов, включая драгирование пород кайнозойского чехла и мезо-палеозойского, местами докембрийского акустического фундамента, и морского бурения [Основные ..., 1978; Geological ..., 1979; Чои, 1986; Антипов, 1987; Сигова, 1990; Геология ..., 2004; Родников и др., 2010]. По этой причине Японское море давно служит полигоном для проверки различных концепций, которые обычно относят к концепциям фиксизма (геосинклинальная концепция; базификация древней континентальной коры; рифтогенез) и мобилизма (тектоника литосферных плит; мантийный диапиризм и рифтогенез [Кариг, 1974]; левый мегасдвиг между Евразией и Тихим океаном [Уткин, 1980]). По ряду позиций между ними есть сходство взглядов (выступ мантии; субокеаническая кора мощностью 12—15 км в районе Центральной, Хонсю и Уллындо батимальных котловин с континентальным блоком Ямато на стыке; рифтогенез; кайнозойская история). Согласно первой концепции, предполагаются эпиокеаническое заложение впадины как части Тихого океана и формирование ее структур in situ без крупных горизонтальных перемещений коры в мезо-кайнозое. Согласно второй концепции, напротив, превалируют представления о кайнозойском раздвиге (спрединге, рифтинге) или горизонтальном перемещении Японской дуги к востоку от Евразии. Дискуссионной остается природа континентальных бордерлендов или сложнопостроенных подводных окраин Корейского п-ова (Сино-Корейский щит) и Японо-Сахалинской дуги [Основные ..., 1978; Geological ..., 1979; Сигова, 1990]. В их пределах мощность коры увеличивается в 2—3 раза (30—40 км и более), меняется ее тип: субокеаническая кора замещается континентальной.

Цель статьи — сбор наиболее полных данных о современной мелкофокусной ( $h \leq 60$  км) сейсмичности Японского моря, подготовка авторского каталога землетрясений и выявление в постановочном плане взаимосвязи сейсмич-

ности с тектоникой земной коры. Сбор материалов по сейсмичности завершился составлением детального каталога землетрясений с магнитудами  $M \geq 3,0$  на основе анализа отечественных и зарубежных сейсмологических сводок за период 1975—2010 гг., когда национальные сети сейсмологических наблюдений стали обеспечивать более надежную регистрацию слабых землетрясений акватории изучаемого объекта.

**Мелкофокусная сейсмичность на основе авторского каталога за 1975—2010 гг.** Сейсмичность региона Японского моря контролируется сейсмологическими службами России, Японии, КНДР, Республики Корея, а также обобщается по данным мировых агентств NEIC/USGS и ISC (International Seismological Centre). Именно эти источники и были использованы при сборе материалов [ЖМА ..., 1926—2011; Данные ..., 1978; Землетрясения в СССР ..., 1984—1997; Исходные ..., 1988; Global ..., 1989; Поплавская и др., 1991, 2006; Kim, Gao, 1995; Землетрясения ..., 1997, 1999—2007; Оперативный ..., 2005—2011; Ким и др., 2009].

Основным источником информации о сейсмичности в 1975—2010 гг. был каталог Японского метеорологического агентства [ЖМА ..., 1926—2011]. Около 92,3 % всех событий сводного каталога содержат данные этого агентства. Точность оценки положений эпицентров мелкофокусных землетрясений, начиная с 1998 г., составляет в среднем 0,7 км по широте, 1,5 км по долготе и 1,5 км по глубине. За анализируемый период в Японском море было зарегистрировано несколько сильных и сильнейших землетрясений с большим количеством афтершоков. Афтершоковые последовательности этих землетрясений обусловили значительный объем сводного каталога, содержащего 9513 событий.

Вторым по объему использованных данных (4,7 %) источником сведений оказался каталог землетрясений юга Сахалина по данным локальной сети цифровых сейсмических станций [Каталог ..., 2011]. Он содержит наиболее полные и точные оценки параметров афтершоков Невельского землетрясения 02.08.2007 г. ( $M = 6,2$ ), которые приведены в сводном каталоге, а дублирующие менее точные оценки из других каталогов удалены. Третье место (2,3 % событий сводного каталога) принадлежит региональному каталогу для всего о-ва Сахалин [Региональный ..., 2006]. Данные о сейсмичности западного шельфа Среднего и Северного Сахалина с конца сентября 2005 г. брались из Оперативного каталога Сахалинского филиала ГС РАН [Оперативный ..., 2005—2011]. Этот и остальные

каталоги дали незначительный объем информации (около 0,7 %). Для западной части Японского моря привлекались данные мирового каталога USGS/NEIC [Global ..., 1989], российских сводок по Приморью и Приамурью [Землетрясения в СССР ..., 1984—1997; Землетрясения ..., 1997, 1999—2007; Поплавская и др., 1991], корейских источников [Данные ..., 1978; Исходные ..., 1988; Kim, Gao, 1995].

Выборка данных в сводном каталоге землетрясений унифицирована по времени. Моменты возникновения событий приведены к стандартному японскому времени (JST). В результате работ на рассматриваемом этапе подготовлен каталог современных ( $M \geq 3,0$ ,  $h \leq 60$  км) землетрясений Японского моря за 1975—2010 гг., содержащий 9513 событий. На рис. 2, 3 представлены карты эпицентров землетрясений сводного каталога для разных интервалов глубин, на рис. 4 — вертикальные субширотные разрезы сейсмоактивных объемов для северной, центральной и южной частей акватории Японского моря. Осевые линии разрезов располагаются в районах  $37^\circ$ ,  $41^\circ$  и  $45^\circ$  с. ш. Ширина полос  $1^\circ$ .

Карты эпицентров землетрясений показывают, что мелкофокусная сейсмичность Японского моря сосредоточена на подводной окраине Японо-Сахалинской дуги примерно от  $34$  до  $52^\circ$  с. ш., т. е. на расстоянии  $\sim 2000$  км. Близ Корейского п-ова уровень сейсмичности заметно снижается и почти совсем спадает вдоль берегов КНДР, Приморского и Хабаровского краев РФ. Единственное исключение — событие 13.11.1990 г. с  $M = 6,3$  [Поплавская и др., 1991]. Оно аномально по местоположению и силе. В ближайших к очагу населенных пунктах максимальный макросейсмический эффект, по-видимому, достигал 5—6 баллов по шкале MSK-64. Согласно данным наблюдений за прошедшее столетие, подобных землетрясений в этом районе не наблюдалось. Указанное событие приурочено к границе, отделяющей позднемеловое, горно-складчатое сооружение Сихотэ-Алиня от молодого, позднекайнозойского, Татарского прогиба [Строение ..., 1976; Ломтев и др., 2010].

Центральная часть Японского моря за исследуемый период почти асейсмична на уровне магнитуд  $M \geq 3,0$ . Отчасти это обусловлено труднодоступностью участков морского дна для сейсмологических исследований и спецификой организации сети сейсмологических наблюдений Японского метеорологического агентства для регистрации сейсмических событий на Японских островах и вблизи них. Поэтому представительность регистрации слабых землетрясе-

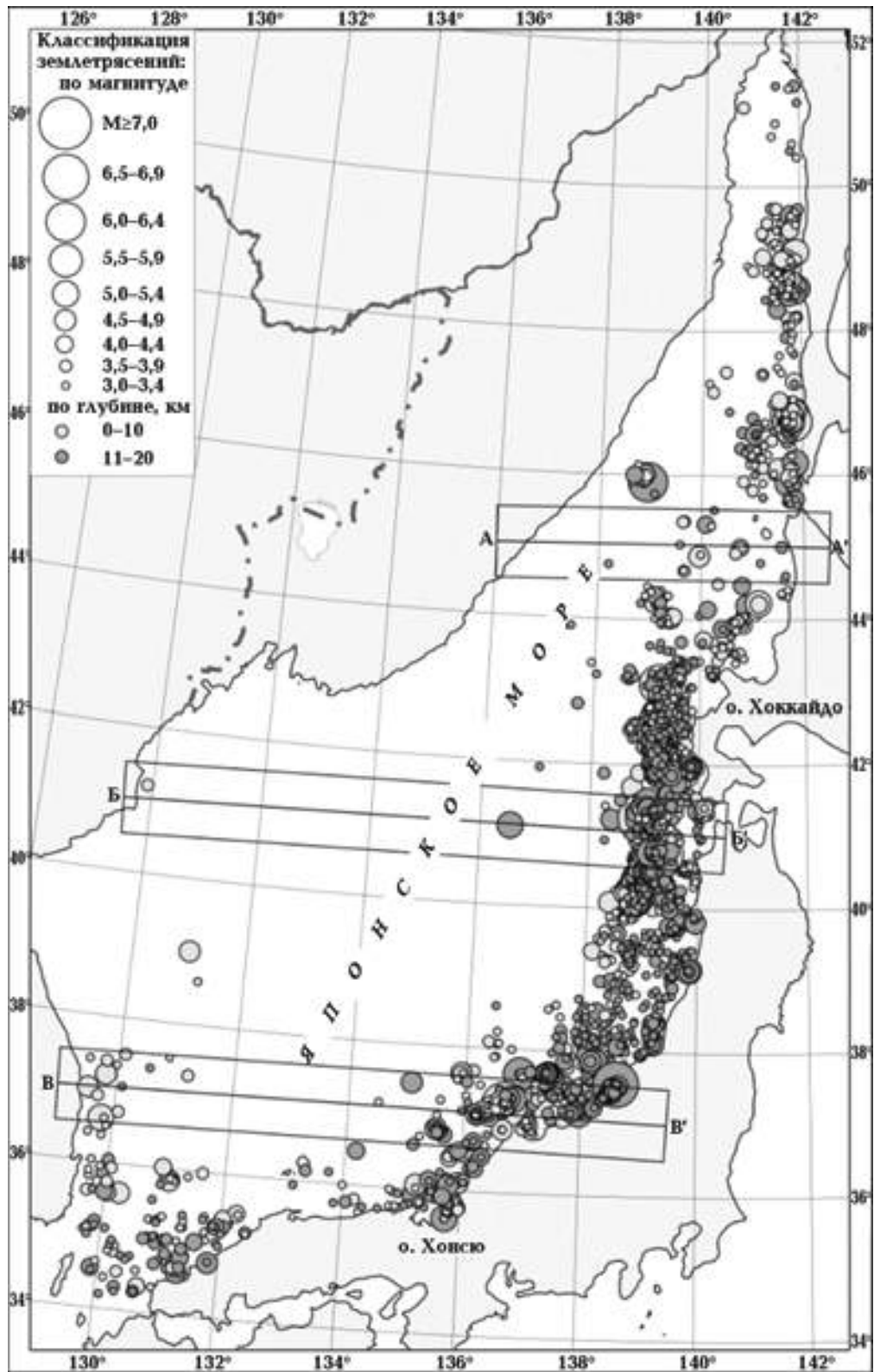


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений с магнитудой  $M \geq 3,0$  на глубинах 0–10 и 11–20 км в Японском море за 1975–2010 гг., по данным авторского каталога. Отрезки прямых А–А', Б–Б', В–В' — осевые линии вертикальных разрезов сейсмоактивных объемов шириной  $\pm 0,5^\circ$  относительно осевых линий.

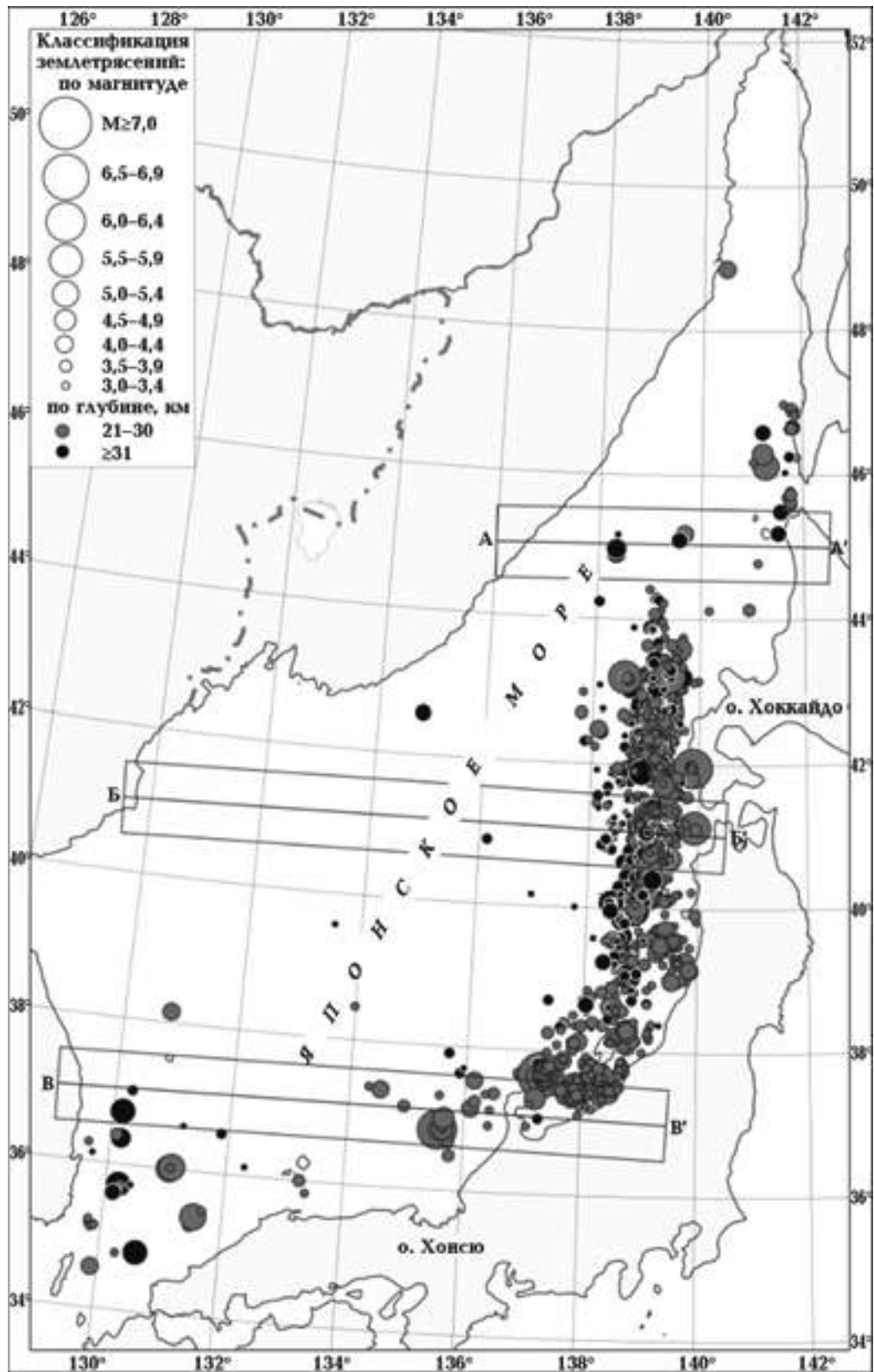


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений с  $M \geq 3,0$  на глубинах 21—30 и 31—60 км в Японском море за 1975—2010 гг., по данным авторского каталога. Пояснения к рисунку см. на рис. 2.

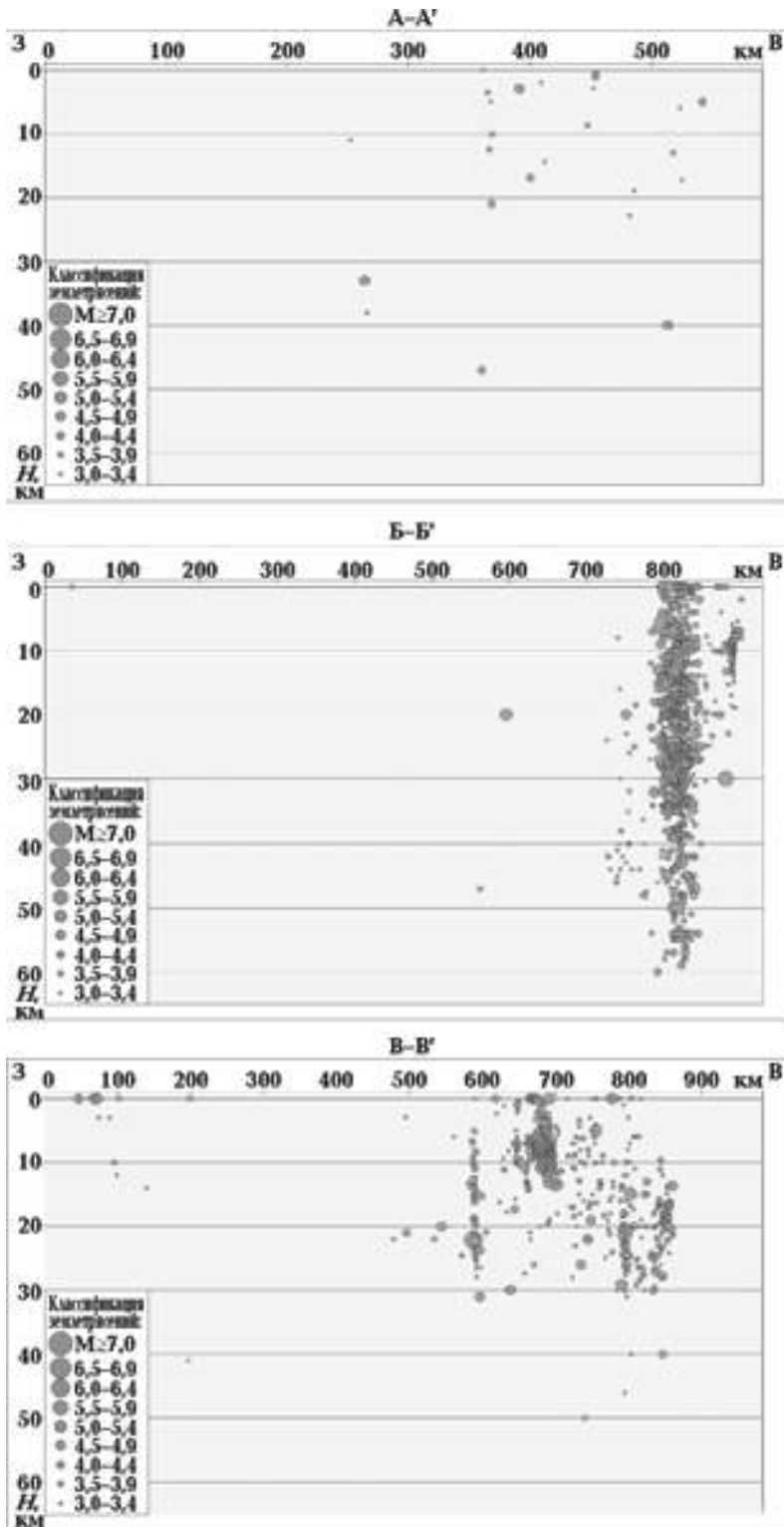


Рис. 4. Вертикальные широтные разрезы сейсмоактивных объемов по линиям А—А', Б—Б', В—В' в пределах  $\pm 0,5^\circ$  относительно этих линий. Координаты конечных точек линий: А ( $45,0^\circ$  с. ш.;  $135,0^\circ$  в. д.), А' ( $45,0^\circ$  с. ш.;  $142,5^\circ$  в. д.), Б ( $41,0^\circ$  с. ш.;  $129,5^\circ$  в. д.), Б' ( $41,0^\circ$  с. ш.;  $140,5^\circ$  в. д.), В ( $37,0^\circ$  с. ш.;  $129,0^\circ$  в. д.), В' ( $37,0^\circ$  с. ш.;  $139,5^\circ$  в. д.).

ний падает по мере удаления эпицентров в море [Тamura и др., 2003; Hasegawa et al., 1979]. Если распределение эпицентров землетрясений в пределах акватории Японского моря было вполне ожидаемым, то близвертикальное распределение их гипоцентров, как показано на рис. 4, оказалось неожиданным в свете гипотез о наклонной зоне субдукции в тылу Японо-Сахалинской дуги [Uyeda, 1991; Родников и др., 2010].

Отметим, что близвертикальные распределения гипоцентров слабых ( $M = 2 \div 3$ ) землетрясений в Японии обнаружены В. Н. Вадковским [Вадковский, 2012]. Однако так называемые сейсмические "гвозди" диаметром 5—10 и глубиной 10—50 км являются локальными образованиями и напрямую не связаны с рассматриваемой сейсмоактивной зоной в тылу Японо-Сахалинской дуги. Тем более что в указанной работе сделан вывод об отсутствии прямой корреляции "гвоздей" с сильными ( $M > 5,0$ ) землетрясениями.

**Возможная тектоническая природа мелкофокусной сейсмичности в тылу Японо-Сахалинской дуги.** Согласно построениям (рис. 2—4), большинство землетрясений фиксируется в пределах подводной окраины или бордерленда Японо-Сахалинской островной дуги, где проходит граница между Амурской и Охотской литосферными плитами (см. врезку на рис. 1). К окраинам о-вов Хоккайдо и Хонсю (северной части) относят зону конвергенции и позднплиоцен-четвертичной субдукции дна (плиты) Японского моря к востоку, обусловленную раскрытием Байкальского рифта [Родников и др., 2010; Uyeda, 1991]. Скорость субдукции достигает 2 см/год, а глубина погружения плиты и связанных с ней землетрясений — 50 км. Эта идея учитывает неглубокое (20—30 км) залегание очагов мелкофокусных событий под островами и их, видимо, стабильное положение за последние 2 млн лет.

В контексте работы отметим, что дуга северо-востока Японии, или Тохоку (то — север, хоку — восток), вместе с Японским желобом и неглубокими (100—200 км) встречными сейсмофокальными зонами Беньофа и Тараканова (рис. 5, а) занимает входящий структурный угол с вершиной близ г. Владивосток. Угол образован фронтальными глубинными надвигами смежных зон Беньофа Идзу-Марианской и Курило-Камчатской систем дуга—желоб, что заверяют карты их сейсмоизобат в работе [Тараканов и др., 1977].

Другой аспект касается результатов интерпретации данных МОГТ и баланса осадков аккреционной призмы Японского желоба (рис. 5, б) [Ломтев, Патрикеев, 1985; Ломтев, 2012], соглас-

но которым дуга Тохоку надвинута на ложе Тихого океана по зоне Беньофа примерно на 90 км за последние 0,5—1,0 млн лет. Ее фронт образует региональный шарьяж Ойасио мощностью 10—20 км, с которым связаны Тохоку мегаземлетрясение и цунами 11.03.2011 г. [Тихонов, Ломтев, 2011]. В Японском море нет параллельного дуге рифта (раздвиг) той же ширины [Основные ..., 1978; Geological ..., 1978; Чои, 1986; Антипов, 1987; Сигова, 1990], следовательно, кора под ним находится в аллохтонном залегании, т. е. сорвана с основания (площадной тектонический покров). Согласно рис. 2—4, значительная часть в пределах акватории почти асейсмична на уровне событий с  $M \geq 3$ . Сейсмическую активность для слабых землетрясений ( $M \sim 1 \div 2$ ) можно было бы оценить с помощью донных сейсмографов, однако такой информации у нас нет. Перепады рельефа дна и кровли акустического фундамента, превышающие 3—5 км [Основные ..., 1978; Geological ..., 1978; Сигова, 1990], указывают на возможность существования заметного фона слабой сейсмичности.

Основная зона мелкофокусной сейсмичности шириной 100—200 км и протяженностью около 2000 км локализована вдоль подводной окраины Японо-Сахалинской островной дуги. Вторая небольшая по площади зона охватывает акваторию северного выхода из Цусимского пролива и юго-восточную подводную окраину Корейского полуострова (Сино-Корейский щит). В районе Цусимского пролива (краевой мезо-кайнозойский прогиб Нактон) можно предполагать глубинный разлом, возможно, связанный с зоной Беньофа Идзу-Марианской дуги [Тараканов и др., 1977] и маркируемый одноименной мегадайкой размером  $220 \times 5$  км с линейной положительной гравитационной аномалией в редукции Буге [Ломтев, 2011, 2012].

Вдоль Японо-Сахалинского бордерленда мелкофокусная сейсмоактивная зона имеет близвертикальное падение, расширяется от флангов к центру и углубляется от 10—40 до 60 км (см. рис. 4). В тектоническом плане ее можно связывать с молодым расколом, продольным сдвигом или зоной субдукции. Возможно, близвертикальное падение гипоцентров маркирует корневую зону фронтального глубинного надвига и регионального перегиба слоев земной коры и подкоревой мантии при переходе от субгоризонтального залегания в Японском море к наклонному в пределах бордерленда.

Тектонические особенности подводной окраины Японо-Сахалинской дуги рассматриваются на примере рис. 5, в. Здесь представлена

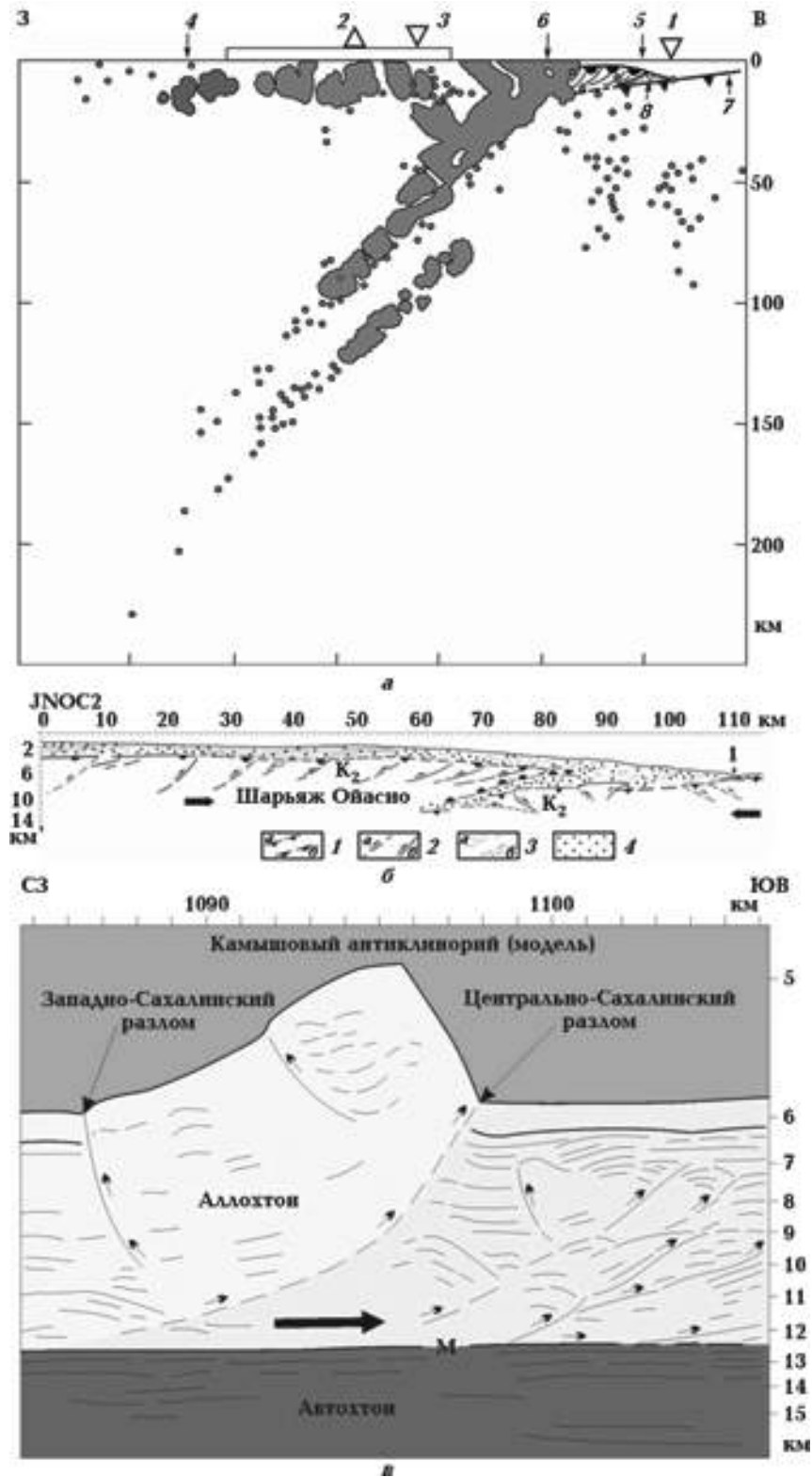


Рис. 5. Мелкофокусная сейсмичность в тылу Японо-Сахалинской дуги: *a* — совмещенный широтный разрез встречных сейсмофокальных зон Беньофа и Тараканова и профиля МОГТ JNOC2 (*b*) на севере дуги Хонсю (Тохоку) близ 39° с. ш. [Hasegawa et al., 1979; Ломтев, Патрикеев, 1985]; 1 — тальвег Японского желоба; 2, 3 — вулканический и асейсмичный фронты соответственно; 4 — основание япономорской окраины дуги; 5, 6 — фронт и корень шарьяжа Ойасно, выделенного также черными полукружками и наклонными линиями (разломы); 7 — кровля подвижного автохтона (слой 2 Северо-Западной плиты



модель двустороннего орогена (по Л. Коберу [Бубнов, 1960]), ограниченного встречными краевыми разломами сжатия. Она недавно предложена для Камышового моноклонория Западного Сахалина [Ломтев, 2010], а в настоящей статье — и для Японо-Сахалинской дуги. Выбор модели поддерживают материалы по Монеронскому 1971 г., Углегорскому 2000 г., Ното 2007 г. и, вероятно, Невельскому 2007 г. землетрясениям [Воробьева, 1977; Прытков, Василенко, 2006; Sato et al., 2007; Ким и др., 2009], свидетельствующие о падении главных сейсморазрывов сжатия на восток под островную дугу с тем уточнением, что ороген является цилиндрическим взбросом в дуплексе регионального Западно-Сахалинского разлома [Ломтев, 2010].

К аналогичному выводу пришли ранее авторы работы [Fukao, Furumoto, 1975], анализировавшие фокальные механизмы семи сильных землетрясений 1933—1971 гг., включая Монеронское, на исследуемой подводной окраине Японо-Сахалинской дуги (надвигов восточного падения).

Согласно рис. 5, в, формирование сейсмоактивной зоны регионального тылового взброса (мегадуплекса) и надвиговой структуры Японо-Сахалинской островной дуги вызвано гравитационным сползанием коры в тылу сейсмоактивных глубинных надвигов [Ломтев и др., 2007]. С учетом предложения Г. Д. Ажгирея, Л. П. Зоненшайна и других авторов по оценке изменения площади коры при определении типа разломов в их поперечном сечении можно предполагать, что близвертикальный тыловой взброс с глубиной приобретает наклон в сторону приподнятого и активного островодужного блока. На подводной окраине о-ва Хоккайдо, очевидно, вследствие существенного различия в масштабах сползания коры в тылу глубинного надвига зоны Бенъофа и Центрально-Сахалинского взбросо-надвига тыловые взбросы эшелонированы в плане: первый выдвинут дальше к западу по сравнению со вторым (см. рис. 2, 3).

В этой связи заметное событие 13.11.1990 г. с  $M = 6,3$  (см. рис. 2), зарегистрированное близ пересечения 46-й параллели с. ш. со 139-м меридианом в. д., можно считать продолжением взброса в тылу глубинного надвига зоны Бенъофа. В таком случае оно не аномально по местоположению и силе.

На юге сейсмоактивная зона в тылу Японо-Сахалинской дуги охватывает восток и юг небольшой батинальной котловины Улындю с выходом в восточную часть Цусимского (Корейского) пролива. К западу от нее мелкофокусная сейсмичность уже обусловлена тектоникой юго-восточной окраины Корейского п-ова (Сино-Корейский щит). Большинство мелкофокусных землетрясений здесь происходит в окрестностях молодой Цусимской мегадайки, маркирующей, очевидно, одноименный глубинный разлом [Ломтев, 2011], и в полосе северо-восточного простираения на прикорейском бордерленде, проходящей в 50—70 км к западу от регионального Улындынского разлома в основании крутого западного борта котловины и трога Улындю (см. рис. 1 [Сигова, 1990]). С учетом выхода пород архея, моноклиального строения и мелких, приповерхностных сбросов [Основные ..., 1978; Ломтев, 2012] приходим к предварительному выводу, что данный разлом, видимо, является цилиндрическим коровым надвигом, падающим к северо-западу под углом 10—20°.

Работа выполнена в рамках государственного контракта по подпрограмме "Исследование природы Мирового океана" ФЦП "Мировой океан" (2 очередь), Лот 12 "Комплексные исследования дальневосточных морей России и северной части Тихого океана для повышения эффективности морской деятельности и рационального природопользования".

**Выводы.** Впервые в сейсмологической практике создан наиболее полный каталог мелкофокусных землетрясений Японского моря с магнитудой  $M \geq 3,0$  и глубиной  $h \leq 60$  км за 1975—2010 гг. Получена более полная картина рас-

---

Пацифики); 8 — аккреционная призма; б — глубинный разрез МОГТ JNOC2: 1 — кровля позднемелового акустического фундамента в аллохтоне (а) и автохтоне (б); 2 — разломы сжатия предполагаемые (а) и установленные (б); 3 — отражающие границы, связанные с линзами турбидитов (а) и надвигами в аккреционной призме (б); 4 — кайнозойский осадочный чехол и аккреционная призма (сгущение точек); цифрой 1 на разрезе обозначен фронт аккреции в подошве тихоокеанского склона островной дуги; в — фрагмент глубинного разреза МОГТ1 с надвиговой моноклиальной грядой из зоны дивергентного гравитационного срыва на ложе северо-запада Пацифики (координаты начала 41° 45,9' с. ш., 150° 12,4' в. д. и конца 35° 59,3' с. ш., 153° 01,8' в. д. [Ломтев, 2008]) как тектонотип или внемасштабная модель Камышового моноклонория Западного Сахалина и Японо-Сахалинской островной дуги [Ломтев, 2008] с дополнениями авторов настоящей статьи.

пределения сейсмичности в восточной части моря (бордерленд), связанной с тектоникой коры. На всем протяжении Японо-Сахалинской островной дуги (~2000 км) предполагается единая тектоническая природа тыловой сейсмоактивной зоны шириной 100—200 км, приуроченной к региональному перегибу слоев земной коры и, возможно, подкоровой мантии в кор-

невой зоне фронтального глубинного надвига, гравитационному сползанию коры на подводной окраине с формированием тылового взброса (точнее их мегадууплекса) и надвиговой структуры дуги (двусторонний ороген).

**Благодарности.** Авторы признательны О.А. Жердевой и М.Г. Гуринову (ИМГиГ ДВО РАН) за подготовку иллюстраций данной статьи.

### Список литературы

- Антипов М.П. Тектоника неоген-четвертичного осадочного чехла дна Японского моря. Москва: Наука, 1987. 86 с.
- Бубнов С.Н. Основные проблемы геологии. Москва: Изд-во МГУ, 1960. 236 с.
- Вагковский В.Н. Субвертикальные скопления гипоцентров землетрясений — сейсмические "гвозди". *Вестник ОНЗ РАН*. 2012. Т. 4. № Z1001. С. 1—8. doi:10.2205/2012NZ000110.
- Василенко Н.Ф., Прытков А.С. Моделирование взаимодействия литосферных плит на о. Сахалин по данным GPS наблюдений. *Тихоокеан. геология*. 2012. Т. 31. № 1. С. 42—48.
- Воробьева Е.А. Механизм очага Монеронского землетрясения по инструментальным данным. В кн.: *Сейсмическое районирование Сахалина*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 68—76.
- Геология, геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Татарского пролива (Под ред. Г.Л. Кирилловой). Владивосток: ДВО РАН, 2004. 220 с.
- Данные о землетрясениях в нашей стране за 2000 лет. Пхеньян: Академия общественных наук, 1978 (на корейском языке).
- Землетрясения в СССР в 1980—1991 гг. Москва: Наука, 1984—1997.
- Землетрясения Северной Евразии в 1992 году. Москва: Геоинформмарк, 1997. 300 с.
- Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. Москва: НИА-Природа, 1999. 252 с.
- Землетрясения Северной Евразии в 1994, 1995, 1996 году. Москва: ОИФЗ РАН, 2000—2002.
- Землетрясения Северной Евразии в 1997, 1998, 1999, 2000, 2001 году. Обнинск: ФОП, 2003—2007.
- Исходные данные для выбора пунктов АЭС. Раздел 3. Сейсмологические и сеймотектонические данные. Кн. 3. Пхеньян, КНДР, 1988. С. 563—573.
- Кари Д.Е. Происхождение и развитие окраинных бассейнов западной части Тихого океана. В кн.: *Новая глобальная тектоника*. Москва: Мир, 1974. С. 266—288.
- Каталог землетрясений юга Сахалина за период с 2000 по 2010 г. (по данным автономных цифровых сейсмических станций). Владивосток: Дальнаука, 2011. 357 с.
- Ким Ч.У., Михайлов В.И., Сен Р.С., Семенова Е.П. Невельское землетрясение 02.08.2007: анализ инструментальных данных. *Тихоокеан. геология*. 2009. Т. 28. № 5. С. 4—15.
- Ломтев В.Л. Деформации Невельского (02.08.2007, M ~ 6,1) шельфового землетрясения (ЮЗ Сахалин). *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2010. № 2. С. 35—46.
- Ломтев В.Л. Новые данные по тектонике магматизму СЗ Пацифики. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2008. № 4. С. 93—105.
- Ломтев В.Л. К строению краевого поднятия юго-восточного шельфа Корейского п-ова (Японское море). *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2011. № 1. С. 93—101.
- Ломтев В.Л. К строению и истории котловины и трога Улындо (южная часть Японского моря). *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2012. № 1. С. 103—116.
- Ломтев В.Л., Никифоров С.П., Ким Ч.У. Тектонические аспекты коровой сейсмичности Сахалина. *Вестник ДВО РАН*. 2007. № 4. С. 64—71.

- Ломтев В. Л., Патрикеев В. Н. Структуры сжатия в Курильском и Японском желобах. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 141 с.
- Ломтев В. Л., Патрикеев В. Н., Сеначин В. Н. К строению Татарского трога (Японское море). *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2010. № 3. С. 65—75.
- Оперативный (ежемесячный) каталог землетрясений Сахалинского филиала ГС РАН, 2005—2010. Южно-Сахалинск: СФ ГС РАН, 2005—2010.
- Основные черты геологического строения дна Японского моря (Под ред. Н. П. Васильковского). Москва: Наука, 1978. 264 с.
- Поплавская Л. Н., Шолохова А. А., Урбан Н. А. и др. Приморское землетрясение 13 ноября 1990 года. Препр. Южно-Сахалинск, ИМГиГ ДВО РАН, 1991. 35 с.
- Прытков А. С., Василенко Н. Ф. Дислокационная модель очага Углегорского землетрясения 4(05).08. 2000 г. *Тихоокеан. геология*. 2006. Т. 25. № 6. С. 115—122.
- Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905—2005 гг. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2006. 103 с.
- Родников А. Г., Забаринская Л. П., Пийп Б. В., Рашидов В. А., Сергеева Н. А. Глубинное строение континентальных окраин региона Японского моря. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2010. Вып. 15. № 1. С. 33—44.
- Сигова К. И. Соотношение приповерхностных и глубинных структур земной коры впадины Японского моря. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. 112 с.
- Строение земной коры и верхней мантии зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану. Новосибирск: Наука, 1976. 367 с.
- Тамура М., Ичиянаги М., Касахара М., Ким Чун Ун, Сен Рак Се. Мелкофокусная сейсмичность в южной части Сахалина и северной части Хоккайдо. *Проблемы сейсмичности Дальнего Востока и Восточной Сибири: Докл. Междунар. науч. симп.* Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2003. Т. 2. С. 113—130.
- Тараканов Р. З., Ким Ч. У., Сухомлинова Р. И. Закономерности пространственного распределения гипоцентров Курило-Камчатского и Японского регионов. В кн.: *Геофизические исследования зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану*. Москва: Наука, 1977. С. 67—77.
- Тихонов И. Н. Сильные землетрясения в Сахалинской области. *Вестник ДВО РАН*. 2006. № 1. С. 67—80.
- Тихонов И. Н., Ломтев В. Л. Великое Японское землетрясение 11 марта 2011 г.: тектонические и сейсмологические аспекты. *Геофиз. процессы и биосфера*. 2011. Т. 10. № 2. С. 49—66.
- Уткин В. П. Сдвиговые дислокации и методика их изучения. Москва: Наука, 1980. 144 с.
- Чои Д. Р. Японская котловина как тектонический трог. *Тихоокеан. геология*. 1986. № 6. С. 24—33.
- Fukao Y., Furumoto M., 1975. Mechanism of large earthquakes along the eastern margin of the Japan Sea. *Tectonophysics* 26 (3/4), 247—266.
- Geological investigations of the Japan Sea. Geol. Survey of Japan. *Cruise Report*. 1979 (13). 99 p.
- Global Hypocenter Data Base CD-ROM. NEIC/USGS. Denver, 1989.
- Hasegawa A., Umino T., Takagi A., Suzuki Z., 1979. Double-planed seismic zone and anomalous structure in the upper mantle beneath northeastern Honshu (Japan). *Tectonophysics* 57, 1—6.
- JMA Earthquake Catalog (Japan Meteorological Agency; 1926.1.1—2011.1.1).
- Kim S. G., Gao F., 1995. Korean Earthquake Catalogue. Hanyang: The Seismol. Inst. Hanyang Univ. 98 p.
- Sato H., Iwasaki T., Kanazawa T., Miyazaki S., Kato N., Sakai S., Yamada T., Miyachi T., Ito T., Hirata N., 2007. Characterization of the 2007 Noto earthquake, Central Japan: insights from seismic profiling, aftershock observations, and coseismic crustal deformation. *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo* 82 (4), 369—379.
- Uyeda S., 1991. The Japanese Island Arc and the subduction process. *Episodes* 14 (3), 190—198.
- Wei D., Seno T., 1998. Determination of the Amurian plate motion, in mantle dynamics and plate interactions in East Asia. *Geodynamics Ser.* AGU. Washington. 27. 419 p.

# Shallow-focus seismic activity in the rear of Japan-Sakhalin insular arc and its possible tectonic nature

© I. N. Tikhonov, V. L. Lomtev, 2014

On the base of analysis of data from different seismic bulletins for the Japan Sea basin the most comprehensive unified catalogue of earthquake with magnitude  $M \geq 3,0$  and depths  $h \leq 60$  km for the period 1975—2010 has been prepared for the first time. Maps of epicenter of events for the four intervals (0—10, 11—20, 21—30 and 31—60 km) and three sub-latitude sections are plotted. Structural peculiarities have been considered and possible tectonic nature of seismic zone along submarine margin or borderland of the Japan-Sakhalin island arc: regional uplift, rather mega-duplex fracture of compression faults, caused by crustal sliding at the rear of frontal deep thrust.

**Key words:** the Japan Sea, earthquakes catalogue, hypocenters distribution, Japan-Sakhalin arc, earth's crust tectonics, submarine margin, rear uplift.

## References

- Antipov M. P.*, 1987. Tectonics of the Neogene-Quaternary sedimentary cover the bottom of the Sea of Japan. Moscow: Nauka, 86 p. (in Russian).
- Bubnov S. N.*, 1960. The main problems of geology. Moscow: MSU Publ., 236 p. (in Russian).
- Vadkovskij V. N.*, 2012. Subvertical clusters of earthquake hypocenters — seismic "nails". *Vestnik ONZ RAN* 4(Z1001), 1—8. doi:10.2205/2012NZ000110 (in Russian).
- Vasilenko N. F., Prytkov A. S.*, 2012. Modeling the interaction of lithospheric plates on Sakhalin Island to the GPS observations. *Tihookeanskaja geologija* 31(1), 42—48 (in Russian).
- Vorob'eva E. A.*, 1977. Focal mechanism Moneron earthquake on instrumental data. In the book.: Seismic zoning of Sakhalin. Vladivostok: FESC AS USSR Publ., 68—76 (in Russian).
- Geology, geodynamics and petroleum potential of sedimentary basins in the Tatar Strait* (Ed. G. L. Kirillova). Vladivostok: FEB RAS Publ., 220 p. (in Russian).
- Data on earthquakes in the country for 2000 years, 1978.* Pyongyang: Academy of Social Sciences (in Korean).
- Earthquakes in the USSR in the 1980—1991, 1984—1997.* Moscow: Nauka (in Russian).
- Earthquakes in Northern Eurasia in 1992, 1997.* Moscow: Geoinformmark, 300 p. (in Russian).
- Earthquakes in Northern Eurasia in 1993, 1999.* Moscow: NIA-Priroda, 252 p. (in Russian).
- Earthquakes in Northern Eurasia in 1994, 1995, 1996, 2000—2002.* Moscow: JIPE RAS Publ. (in Russian).
- Earthquakes in Northern Eurasia in 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2003—2007.* Obninsk: FOP (in Russian).
- Initial data for select items NPP. Section 3. Seismological and seismotectonic data. Book. 3, 1988.* Pyongyang, DPRK, 563—573 (in Korean).
- Karig D. E.*, 1974. Origin and development of marginal basins western Pacific. In: *The new global tectonics.* Moscow: Mir, 266—288 (in Russian).
- Catalog of earthquakes south of Sakhalin for the period from 2000 to 2010 (according to autonomous digital seismic stations), 2011.* Vladivostok: Dal'nauka, 357 p. (in Russian).
- Kim Ch. U., Mihajlov V. I., Sen R. S., Semenova E. P.*, 2009. Nevelskaya earthquake 02.08.2007: analysis of instrumental data. *Tihookeanskaja geologija* 28(5), 4—15 (in Russian).
- Lomtev V. L.*, 2010. Deformation Nevelsky (02.08.2007,  $M \sim 6,1$ ) offshore earthquake (Southwest Sakhalin). *Geologija i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana* (2), 35—46 (in Russian).
- Lomtev V. L.*, 2008. New data on the tectonics and magmatism of the NW Pacific. *Geologija i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana* (4), 93—105 (in Russian).

- Lomtev V.L., 2011. On the structure of the regional uplift south-eastern shelf of the Korean Peninsula (Sea of Japan). *Geologija i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana* (1), 93—101 (in Russian).
- Lomtev V.L., 2012. On the structure and history of depression and trough Ulleungdo (southern part of the Sea of Japan). *Geologija i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana* (1), 103—116 (in Russian).
- Lomtev V.L., Nikiforov S.P., Kim Ch.U., 2007. Tectonic crustal seismicity aspects of Sakhalin. *Vestnik DVO RAN* (4), 64—71 (in Russian).
- Lomtev V.L., Patrikeev V.N., 1985. Structure compression in the Kuril and Japan trenches. Vladivostok: FESC AS USSR Publ., 141 p. (in Russian).
- Lomtev V.L., Patrikeev V.N., Senachin V.N., 2010. On the structure of the Tatar Trough (Sea of Japan). *Geologija i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana* (3), 65—75 (in Russian).
- Operative (monthly) earthquake catalog Sakhalin branch of GS RAS 2005—2010, 2005—2010. Yuzhno-Sakhalinsk: SB GS RAS Publ. (in Russian).
- The main features of the geological structure of the bottom of the Sea of Japan, 1978 (Ed. N.P. Vasilkovskiy). Moscow: Nauka, 264 p. (in Russian).
- Poplavskaja L.N., Sholohova A.A., Urban N.A. et al. Seaside earthquake November 13, 1990, 1991. Working paper. Yuzhno-Sakhalinsk: FEB IMGG RAS, 35 p. (in Russian).
- Prytkov A.S., Vasilenko N.F., 2006. Dislocation model of the earthquake focus Uglegorskogo 4 (05).08. 2000. *Tihookeanskaja geologija* 25(6), 115—122 (in Russian).
- Regional catalog of earthquakes of Sakhalin Island 1905—2005, 2006. Yuzhno-Sakhalinsk: FEB IMGG RAS, 103 p. (in Russian).
- Rodnikov A.G., Zabarinskaja L.P., Pijp B.V., Rashidov V.A., Sergeeva N.A., 2010. Deep structure of the continental margin of Japan Sea region. *Vestnik KRAUNC. Nauki o Zemle* 15(1), 33—44 (in Russian).
- Sigova K.I., 1990. The ratio of surface and deep crustal structures depression Sea of Japan. Vladivostok: FESC AS USSR Publ., 112 p. (in Russian).
- Structure of the crust and upper mantle in the transition zone from the Asian continent to the Pacific Ocean, 1976. Novosibirsk: Nauka, 367 p. (in Russian).
- Tamura M., Ichijanagi M., Kasahara M., Kim Chun Un, Sen Rak Se., 2003. Of shallow seismicity in the southern part of Sakhalin and northern Hokkaido. *Seismic problems of the Far East and Eastern Siberia: Proc. Int. Sci. Symp. Yuzhno-Sakhalinsk: FEB IMGG RAS*, 2, 113—130 (in Russian).
- Tarakanov R.Z., Kim Ch.U., Suhomlinova R.I., 1977. Patterns of spatial distribution of hypocenters Kurile-Kamchatka and Japan regions. In: *Geophysical exploration transition zone from the Asian continent to the Pacific Ocean*. Moscow: Nauka, 67—77 (in Russian).
- Tihonov I.N., 2006. Strong earthquake in Sakhalin region. *Vestnik DVO RAN* (1), 67—80 (in Russian).
- Tihonov I.N., Lomtev V.L., 2011. Great Japanese earthquake March 11, 2011: tectonic and seismological aspects. *Geofizicheskie processy i biosfera* 10(2), 49—66 (in Russian).
- Utkin V.P., 1980. Strike-slip faulting and methods of their study. Moscow: Nauka, 144 p. (in Russian).
- Choi D.R., 1986. Japanese Basin as tectonic trough. *Tihookeanskaja geologija* (6), 24—33 (in Russian).
- Fukao Y., Furumoto M., 1975. Mechanism of large earthquakes along the eastern margin of the Japan Sea. *Tectonophysics* 26 (3/4), 247—266.
- Geological investigations of the Japan Sea. Geol. Survey of Japan. *Cruise Report*. 1979 (13). 99 p.
- Global Hypocenter Data Base CD-ROM. NEIC/USGS. Denver, 1989.
- Hasegawa A., Umino T., Takagi A., Suzuki Z., 1979. Double-planed seismic zone and anomalous structure in the upper mantle beneath northeastern Honshu (Japan). *Tectonophysics* 57, 1—6.
- JMA Earthquake Catalog (Japan Meteorological Agency; 1926.1.1—2011.1.1).
- Kim S.G., Gao F., 1995. Korean Earthquake Catalogue. Hanyang: The Seismol. Inst. Hanyang Univ. 98 p.
- Sato H., Iwasaki T., Kanazawa T., Miyazaki S., Kato N., Sakai S., Yamada T., Miyachi T., Ito T., Hirata N., 2007. Characterization of the 2007 Noto earthquake, Central Japan: insights from seismic profiling, aftershock observations, and coseismic crustal deformation. *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo* 82(4), 369—379.
- Uyeda S., 1991. The Japanese Island Arc and the subduction process. *Episodes* 14(3), 190—198.
- Wei D., Seno T., 1998. Determination of the Amurian plate motion, in mantle dynamics and plate interactions in East Asia. *Geodynamics Ser. AGU*. Washington. 27. 419 p.