

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 Бенъофа 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-

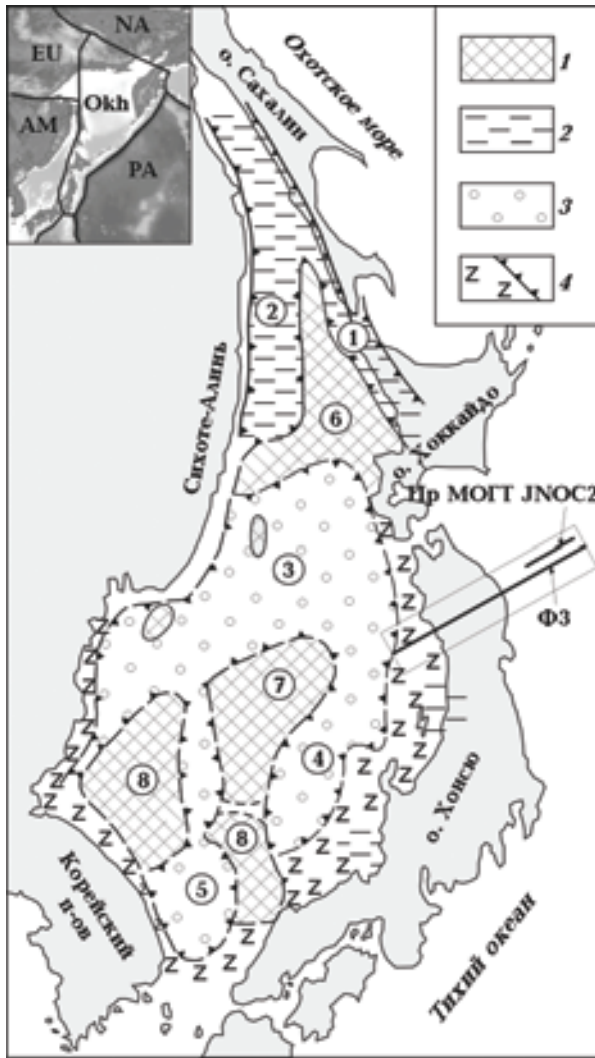


Рис. 1. Схема распространения главных структурных элементов дна Японского моря [Антипов, 1987]: 1 — области поднятий; 2 — эпиконтинентальные прогибы; 3 — глубоководные депрессии; 4 — флексурно-разрывные зоны и их границы; отрицательные структуры (цифры в кружках): 1 — Западно-Сахалинский прогиб; 2 — 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 батияльных 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° , 41° и 45° с. ш. Ширина полос 1° .

Карты эпицентров землетрясений показывают, что мелкофокусная сейсмичность Японского моря сосредоточена на подводной окраине Японо-Сахалинской дуги примерно от 34 до 52° с. ш., т. е. на расстоянии ~ 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-

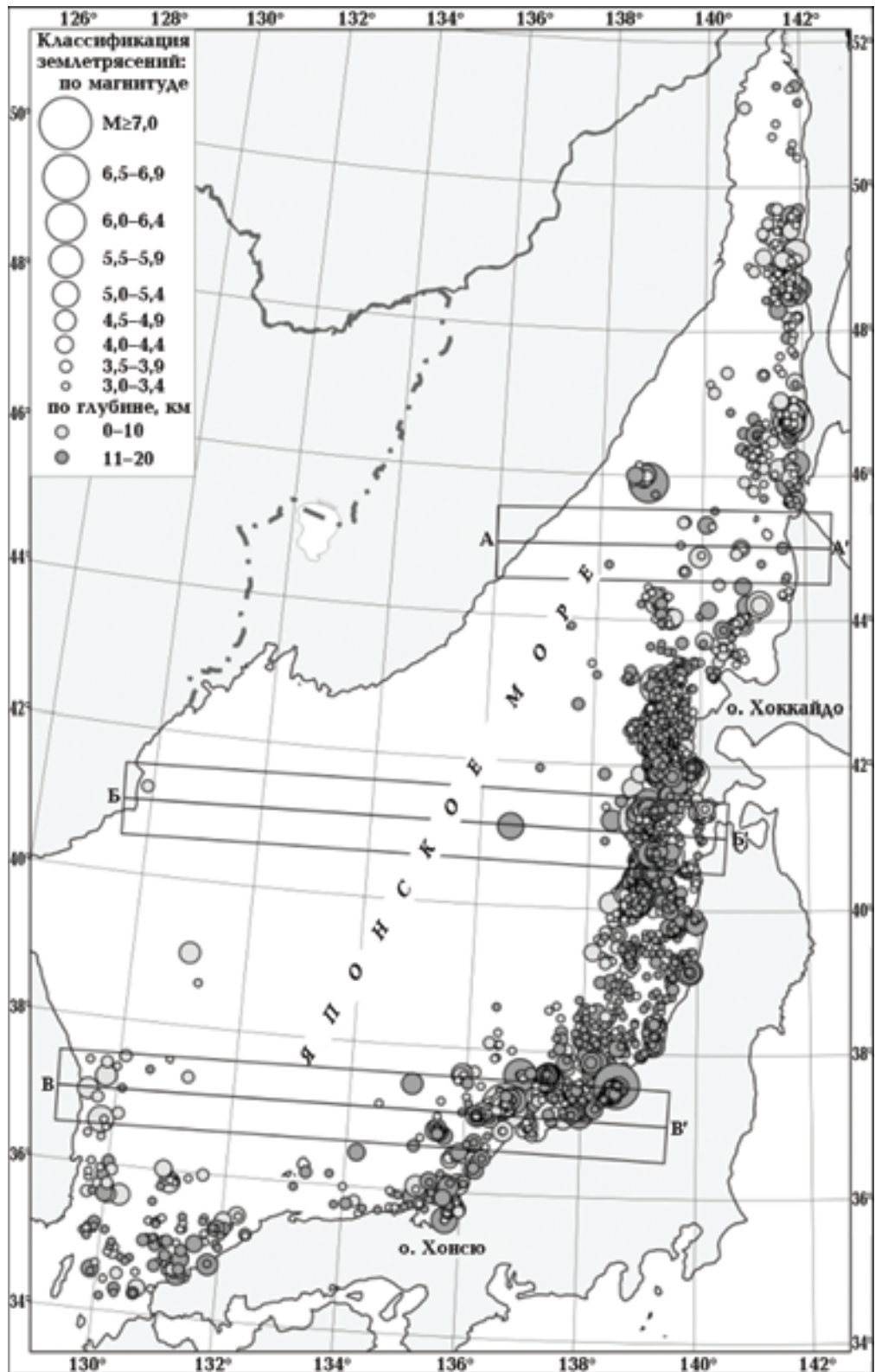


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений с магнитудой $M \geq 3,0$ на глубинах 0–10 и 11–20 км в Японском море за 1975–2010 гг., по данным авторского каталога. Отрезки прямых А–А', Б–Б', В–В' — осевые линии вертикальных разрезов сейсмоактивных объемов шириной $\pm 0,5^\circ$ относительно осевых линий.

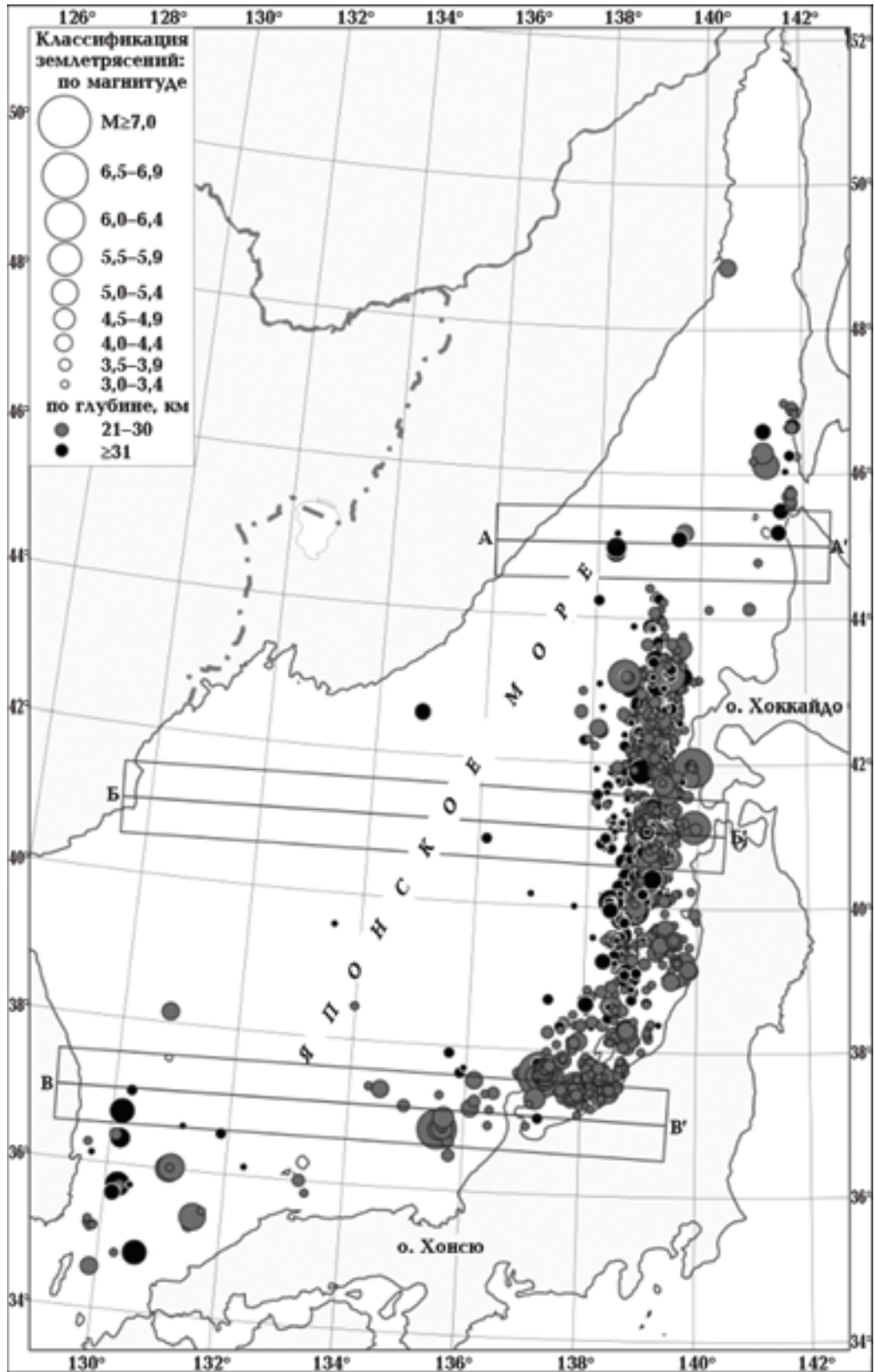


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений с $M \geq 3,0$ на глубинах 21—30 и 31—60 км в Японском море за 1975—2010 гг., по данным авторского каталога. Пояснения к рисунку см. на рис. 2.

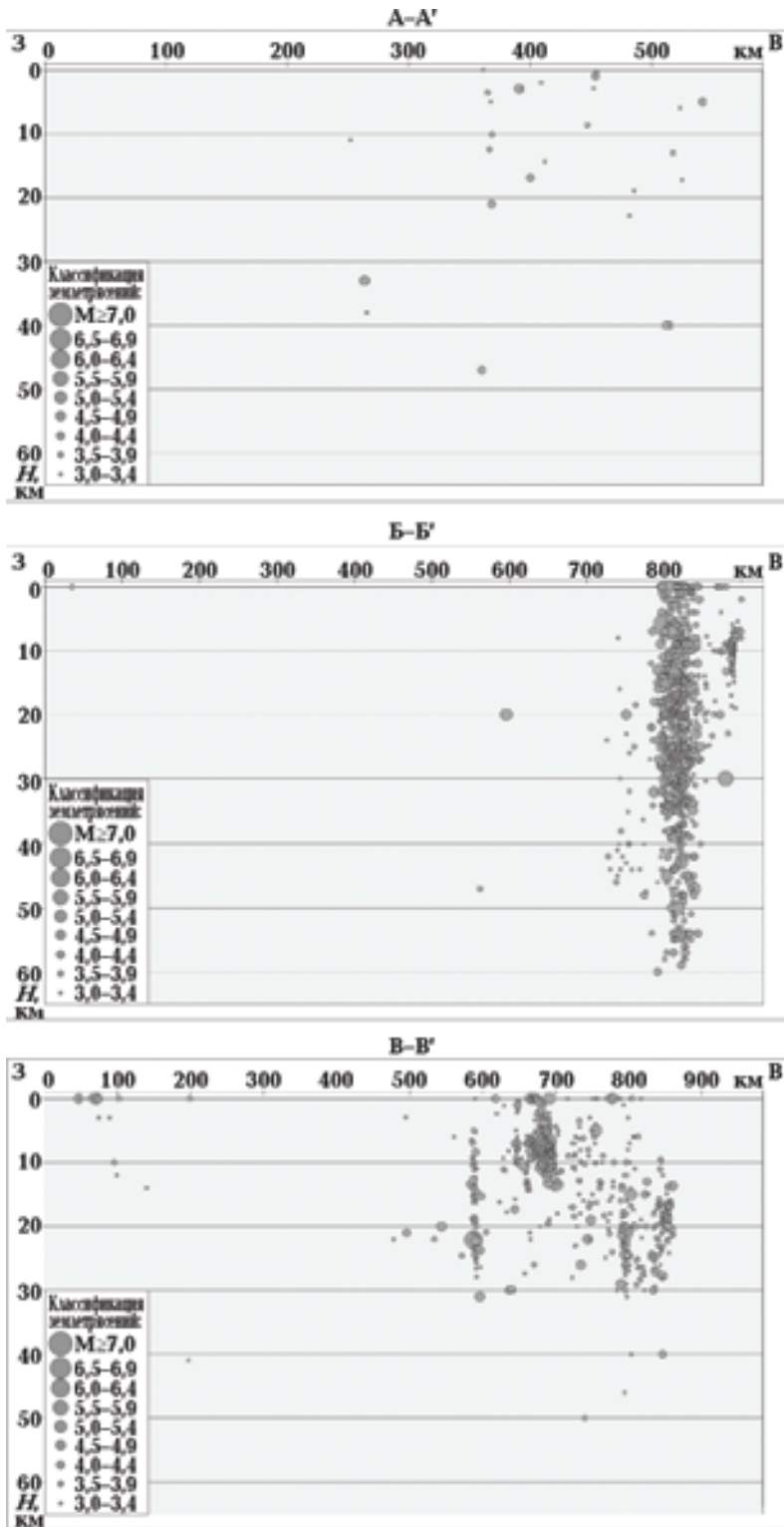


Рис. 4. Вертикальные широтные разрезы сейсмоактивных объемов по линиям А—А', Б—Б', В—В' в пределах $\pm 0,5^\circ$ относительно этих линий. Координаты концевых точек линий: А ($45,0^\circ$ с. ш.; $135,0^\circ$ в. д.), А' ($45,0^\circ$ с. ш.; $142,5^\circ$ в. д.), Б ($41,0^\circ$ с. ш.; $129,5^\circ$ 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 220×5 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

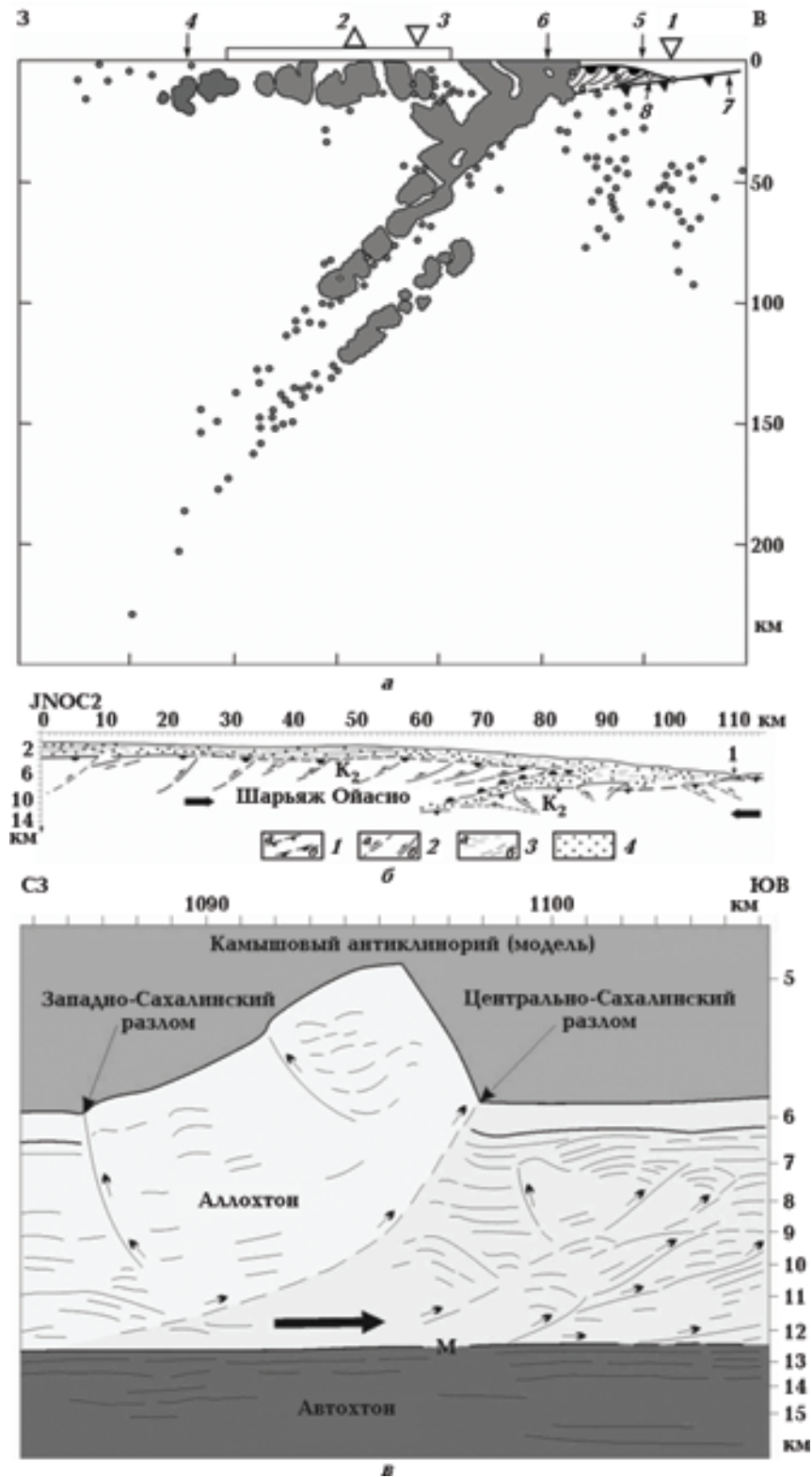


Рис. 5. Мелкофокусная сейсмичность в тылу Японо-Сахалинской дуги: *a* — совмещенный широтный разрез встречных сейсмофокальных зон Беньофа и Тараканова и профиля МОГТ JNOC2 (*в*) на севере дуги Хонсю (Тохоку) близ 39° с. ш. [Hasegawa et al., 1979; Ломтев, Патрикеев, 1985]; 1 — тальвег Японского желоба; 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 Улындинского 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 мегадуплекса) 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: НИИ-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, $M \sim 6,1$) 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.