

УДК 550.348:550.834(265.53)

## МЕЛКОФОКУСНАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ ОХОТСКОГО МОРЯ И ЕЕ ВЕРОЯТНАЯ ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПРИРОДА

И.Н. Тихонов, В.Л. Ломтев

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

**Аннотация.** По результатам анализа данных различных сейсмологических сводок по акватории Охотского моря впервые подготовлены два наиболее полных каталога мелкофокусных землетрясений за исторический (1735–2010 гг.; с  $M \geq 5.0$ ) и инструментальный (1962–2010 гг.; с  $M \geq 4.0$ ) периоды. Рассмотрены особенности распределения сейсмичности в плане и по глубине, даны оценки повторяемости землетрясений на трех различных шельфах Охотского моря. Проведено сопоставление карт гипоцентров событий со схемой глубин поверхности Мохоровичича. С учетом материалов непрерывного сейсмического профилирования (НСП) и метода общей глубинной точки (МОГТ) рассмотрена вероятная связь тектонической природы сейсмичности в пределах акватории Охотского моря с мобильностью и аллохтонным залеганием земной коры (дивергентный срыв на Охотском своде, региональные надвиги вдоль островодужных окраин, опускание ложа Курильской котловины).

**Ключевые слова:** Охотское море, каталог землетрясений, мелкофокусная сейсмичность, земная кора, фундамент, чехол, свод, котловина, шельф, активный разлом.

### ВВЕДЕНИЕ

Охотское окраинное море расположено в пределах Тихоокеанского сейсмического пояса, в котором происходит более 80% землетрясений Земли, в том числе большая часть катастрофических событий. Сильные и сильнейшие землетрясения, возникающие восточнее Курильских о-вов, сопровождаются большими разрушениями и человеческими жертвами. Яркими примерами служат Камчатское 04.11.1952 г. ( $M_w = 9.0$ ) [MacInnes et al., 2010] и Шикотанское 04.10.1994 г. ( $M_w = 8.3$ ) [Шикотанское..., 1994, 1995] землетрясения. Значительность ущерба связана с тем, что большинство сейсмических событий в районе Курило-Камчатской дуги приурочены к фокальной зоне Беньофа, погружающейся под материк [Тараканов, 2006]. Существование этой зоны связывают либо с субдукцией Тихоокеанской литосферной плиты под Охотскую [Пишон и др., 1977; Wei, Seno, 1998], либо с глубинным надвигом Евразии на ложе Северо-Западной Пацифики [Сергеев, 1976; Ломтев и др., 2012]. На поверхность Земли зона Беньофа выходит на континентальном склоне Курило-Камчатского глубоководного желоба. Дополнительный, хотя и почти не исследованный вклад в сейсмичность островной дуги вносит неглубокая встречная фокальная зона, открытая южнее и названная П.Н. Кро-

поткиным [1978] зоной Тараканова. На севере о. Хонсю эта фокальная зона выходит близ вулканического фронта (линия четвертичных вулканов) [Тараканов и др., 1977; Хасагава и др., 1978].

Однако предметом исследования в данной работе является другой объект — мелкофокусная (коровая) сейсмичность Охотского окраинного моря, связанная с тектоникой земной коры мощностью до ~20–40 км [Поплавский, Бобков, 2001; Тектоника..., 2004]. Изучение сейсмичности окраинных морей и открытого океана имеет специфику по сравнению с исследованием сейсмичности на суше. Морское дно труднодоступно для сейсмогеологических исследований, поэтому морские каталоги менее полны, а точность локализации гипоцентров ниже. Уровень сейсмичности в центральных частях окраинных морей, как правило, ниже, чем на периферии [Гордеев и др., 2006]. При этом отдельные участки периферии могут значительно отличаться по уровню сейсмичности, как в пределах конкретного моря, так и для различных морей. В то время как восточнее Курильских о-вов сейсмическая активность достигает почти максимального для Земли уровня, западнее (на акватории Охотского моря) она носит умеренный характер [Новый каталог..., 1977; Иващенко и др., 1990].

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Материалы по сейсмичности Охотского моря содержатся в ряде статей и разделах некоторых монографий [Соловьев и др., 1967; Новый каталог..., 1977; Сейсмическое районирование..., 1980; Сейсмичность..., 1993, 1995]. Кроме того, имеются рассредоточенные данные в различных каталогах и бюллетенях [ЖМА..., 1926–2000; Bulletin..., 1974–2005; JNEC, 1985–1990; Унифицированный каталог..., 1996; Оперативный..., 2005–2010; Каталог землетрясений..., 2001] и ежегодниках «Землетрясения в СССР», «Землетрясения Северной Евразии». Материалы инструментальных сейсмологических наблюдений за 1913–1975 гг. для Охотского моря рассматривались в работе [Поплавская, Оскорбин, 1977]. Авторы сделали вывод о том, что за период 1913–1958 гг. сведения неоднородны и зачастую мало достоверны. В последующие годы (1959–1975 гг.) с развитием сети сейсмических станций и улучшением их аппаратного оснащения стал поступать более качественный материал. Следующий обобщающий анализ сейсмичности Охотского моря был проведен в работе [Иващенко и др., 1990].

Изучение мелкофокусной сейсмичности Охотского моря актуально по ряду причин. Во-первых, наиболее сильные землетрясения вблизи побережий представляют реальную угрозу для портовых сооружений и прибрежных населенных пунктов. Во-вторых, активное промышленное освоение нефтегазовых месторождений (в частности, на северо-восточном шельфе о. Сахалин) также требует учета степени сейсмической опасности и риска. В свою очередь, информационную основу любого сейсмического районирования составляет унифицированный каталог землетрясений, представительный для изучаемого района. В-третьих, недооценка сейсмической опасности может приводить к недооценке угрозы разрушительных волн цунами, возникающих при сильных подводных землетрясениях, и, как следствие, к человеческим жертвам и большим материальным потерям.

В ходе проведения настоящего исследования решались следующие задачи:

- 1) подготовка каталога сильных ( $M \geq 5.0$ ) исторических и современных мелкофокусных ( $h \leq 60$  км) землетрясений для акватории Охотского моря;
- 2) создание для этого района более детально каталога землетрясений, начиная с магнитуды  $M \geq 4.0$ , за последние полвека;
- 3) описание сейсмического режима на участках наибольшей активности;
- 4) анализ взаимосвязи сейсмичности с мощностью и тектоникой земной коры.

При составлении сводных каталогов землетрясений учитывались особенности выходных данных, публикуемых различными агентствами, с целью выбора наиболее полных и надежных оценок параметров землетрясений. Задача, касающаяся описания сейсмического режима, решалась с использованием стандартных способов, принятых в сейсмологии. При решении четвертой задачи привлекались геолого-геофизические материалы, в основном данные МОГТ и НСП, с элементами новой геологической интерпретации. С учетом новизны ряда полученных выводов настоящую работу авторы рассматривают как постановочную.

Изучение строения земной коры Охотского моря, Курильской дуги и прилегающего ложа Северо-Западной Пацифики началось во время проведения Международного геофизического года, когда Институт физики Земли АН СССР отработал сеть профилей глубинного сейсмического зондирования [Строение..., 1976]. В 1970–1980-х гг. Институт морской геологии и геофизики (ИМГиГ) ДВО АН СССР, трест «Дальморнефтегеофизика», Дальневосточное управление морского разведочного бурения (ДМУРБ) и Дальневосточная морская инженерно-геологическая экспедиция (ДМИГЭ) провели геолого-геофизические исследования различного масштаба и глубинности, включавшие промер, НСП, МОГТ, корреляционный метод преломленных волн (КМПВ), грави-, магнито- и термометрию, драгирование, грунтоотбор, поисковое и параметрическое бурение. Наибольшая плотность съемки была достигнута на шельфах Северо-Восточного Сахалина, Западной Камчатки, Примагандья, мелководного северо-запада Охотского моря (Охотско-Шантарский осадочный бассейн), юге Срединно-Курильского прогиба и в прилегающих районах [Чуйко и др., 1988; Геология..., 2002; Тектоника..., 2004]. В этот период проводится региональная геолого-геофизическая съемка подводных окраин Японского архипелага [Geological..., 1978 и др.] и практически всех окраинных морей Пацифики, ориентированная в основном на запросы нефтегазовой геологии [Гнибиденко, 1979].

По результатам проведенных работ была уточнена батиметрия, опубликованы карты изопакит кайнозойского чехла и глубин акустического фундамента, сложенного вулканогенно-осадочными породами отделов мела, на северо-западе Охотского моря — палеозоя, установлены состав, отчасти возраст и петрофизика поднятых пород фундамента и чехла, намечены основные черты стратиграфии, тектоники, магматизма и истории геологического развития впадины Охотского и других окраинных морей Пацифики. В более ранних работах здесь выделяли Охотскую жест-

кую глыбу, или срединный массив с континентальной (субконтинентальной) корой, в раме областей кайнозойской складчатости. Позднее, по мере становления теории тектоники литосферных плит, спектр представлений заметно расширился (мантийный диапиризм, тыловодужный спрединг [Кариг, 1974; Злобин, 2006], раздвиг в зоне левого мегасдвига между Евразией и Тихим океаном [Уткин, 1980] и др.). Однако почти все исследователи убеждены в ведущей роли кайнозойского рифтогенеза в Охотском и других окраинных морях Пацифики [Гнибиденко, 1979; Строение..., 1976, 1981; Тектоника..., 2004]. Его связывают с растяжением и опусканием континентальной коры *in situ* по системе нормальных сбросов, ограничивающих горсты и грабены мезопалеозойского акустического фундамента [Емельянова, 2004]. Грабены выполнены кайнозойскими, морскими и прибрежно-морскими толщами [Большаков и др., 1989]. Общеприняты согласное, без срыва, залегание земной коры на мантии, ее крупный выступ в Курильской котловине [Строение..., 1976; Прокудин, Медведев, 2011] и связь коровой сейсмичности побережий Охотского моря с активными разломами, частью выходящими на акваторию [Вашилов и др., 2004; Воейкова и др., 2007; Трифонов, Кожурин, 2010; Харахинов, 2010].

В последние десятилетия сейсмологам удалось заметно повысить точность определения местоположения гипоцентров наземных и прибрежных землетрясений. Так, на о. Сахалин и его подводных окраинах определенные в работе [Соловьев и др., 1968] сильные литосферные события на глубинах 50–150 км получили статус коровых [Нагорных и др., 2003]. Основной проблемой в сейсмотектонике Охотского моря является мобильность земной коры и асейсмичность подкоровой мантии. Помимо сейсмичности о мобильности коры свидетельствуют и другие факты: 1) значительный (5–12 км) размах рельефа акустического фундамента, характерный для континентальных горных стран (Охотия [Ломтев и др., 2002; Тектоника..., 2004]); 2) дискордантность Японо-Сахалинской дуги сейсмоизобатам зоны Беньофа [Геолого-геофизический..., 1987; Тараканов и др., 1977]; 3) достигающий 30–70 км региональный надвиг Курильской дуги и дуги Тохоку на ложе Северо-Западной Пацифики в среднем плейстоцене-голоцене [Тихонов, Ломтев, 2011; Ломтев и др., 2012]. Поскольку в Охотском и Японском морях нет молодых продольных раздвигов соизмеримой ширины [Основные..., 1978; Тектоника..., 2004], компенсирующих надвижение упомянутых дуг, то приходится констатировать аллохтонное залегание земной коры в этих окраинных морях. Для изучения признаков мо-

бильности коры Охотского моря в работе использованы материалы НСП и МОГТ с новой геологической интерпретацией, апробированной ранее в Курильском и Японском желобах, ложе Северо-Западной Пацифики и ряде других регионов [Ломтев, 2000, 2008, 2009, 2012; Ломтев, Патрикеев, 1985]. В кайнозое угленакпление, абразия выступов и морская биотерригенная седиментация в значительной степени сnivelировали горный рельеф Охотии, сформировав равнины шельфа, аваншельфа и ложа трех батинальных котловин Охотского моря [Большаков и др., 1989; Тектоника..., 2004].

**ПОДГОТОВКА КАТАЛОГОВ МЕЛКОФОКУСНЫХ  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗА 1735–2010 ГГ.  
( $M \geq 5.0$ ) И 1962–2010 ГГ. ( $M \geq 4.0$ ).  
ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧНОСТИ  
И СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕГИОНА**

Малонаселенность прибрежных районов Охотского моря в течение исторического периода — основная причина скудости сведений о землетрясениях за этот отрезок времени. Первые упоминания о землетрясениях в районе Охотского моря, начиная с 1735 г., содержатся в сейсмологической сводке И.В. Мушкетова и А.П. Орлова [1893]. Этот каталог содержит данные о землетрясениях за 1700–1888 гг. Сведения за 1889–1897 гг. даны в дополнительных выпусках, изданных И.В. Мушкетовым, а с 1902 по 1907 г. — в бюллетенях Постоянной Центральной сейсмической комиссии.

В 1961 г. выходит «Атлас землетрясений в СССР», содержащий, в частности, каталог землетрясений Дальнего Востока за 1911–1953 гг. В нем помимо основных параметров землетрясений указаны также классы точности определения местоположения сейсмических событий. К 1977 г. завершилась многолетняя подготовка другого фундаментального научного труда [Новый каталог..., 1977] (далее — Новый каталог), обобщающего все существовавшие на то время данные о сильных землетрясениях на территории СССР. В этот каталог включены все известные исторические землетрясения, а также сильные современные события по 1974 г. Для отдельного землетрясения выбиралось наиболее вероятное значение каждого параметра на основе всей совокупности имеющихся данных. Кроме того, оценки значений каждого параметра сопровождаются оценками точности их определений.

В настоящей работе помимо Нового каталога использовались также и другие литературные источники (см. список литературы в конце статьи).

Расхождения в оценках параметров одних и тех же землетрясений по данным различных сейсмо-

логических источников создавали определенные трудности при подготовке унифицированного каталога сейсмических событий. В изучаемом районе дело осложняется еще и делением акватории Охотского моря на шесть частей, подведомственных различным организациям Геофизической службы (ГС) РАН. В результате данные о землетрясениях Охотского моря рассредоточены по каталогам землетрясений следующих регионов: Северо-Восток России (Магаданский филиал ГС РАН); Якутия (Якутский филиал ГС СО РАН); Камчатка и Командорские о-ва (Камчатский филиал ГС РАН); Курило-Охотский регион, Сахалин, Приамурье и Приморье (Сахалинский филиал ГС РАН).

При составлении каталога сильных поверхностных землетрясений Охотского моря нами приняты следующие ограничения значений параметров событий. Сведения, касающиеся исторических землетрясений, выбирались для всех магнитуд (минимальное значение оказалось равным 4.0), а для современных событий — с магнитуды  $M \geq 5.0$ . Диапазон глубин гипоцентров поверхностных толчков принят равным 0–60 км. Этот выбор основан на том факте, что подавляющее число сейсмических толчков возникает на глубинах от 0 до 30–40 км [Поплавский, Бобков, 2001]. В создаваемый каталог включались данные тех сводок, которые содержат наиболее надежные оценки параметров землетрясений. Как правило, приоритетными считались данные того подразделения ГС РАН, в зоне ответственности которого зарегистрировано рассматриваемое сейсмическое событие. Данные международных каталогов землетрясений использовались в основном для контроля за полнотой создаваемого каталога.

При выборке данных из региональных каталогов землетрясений Камчатского филиала ГС РАН оценки энергетического класса  $K_S$  по С.А. Федотову пересчитывались в оценки магнитуды  $M$  по соотношению [Федотов, 1972]  $K_S = 4.6 + 1.5M$ .

Аналогично для Курило-Охотского региона оценки энергетического класса  $K_C$  по С.Л. Соловьеву пересчитывались в оценки магнитуды  $M$  по соотношению [Соловьев, Соловьева, 1967]  $K_C = 1.2 + 2.0M$ .

После компьютерной обработки данных был создан каталог всех исторических ( $M \geq 4.0$ ) и современных ( $M \geq 5.0$ ,  $h \leq 60$  км) землетрясений Охотского моря за 1735–2010 гг., содержащий 81 событие. Карта эпицентров этих событий приведена на рис. 1, а. Каждая строка каталога содержит перечень оценок основных параметров отдельного землетрясения и их погрешностей (дату и время в очаге, координаты эпицентра, глубину очага и магнитуду). В конце каждой строки указан источник приведенных данных о землетрясении.

Описанная выше схема обработки данных использовалась и при подготовке более детально каталога землетрясений Охотского моря за 1962–2010 гг. ( $M \geq 4.0$ ,  $h \leq 60$  км). Каталог содержит 356 событий. Карта эпицентров этих событий приведена на рис. 1, б, а вертикальные разрезы сейсмоактивных объемов в субширотном направлении для северной, средней и южной частей акватории Охотского моря — на рис. 2.

Согласно данным рис. 1 почти все очаги коровых землетрясений с магнитудами  $M \geq 4.0$  сосредоточены вблизи побережья Охотского моря. Наиболее высокий уровень сейсмичности наблюдается в трех районах: 1) вблизи северо-восточного побережья о. Сахалин; 2) на участке Прикурильского шельфа; 3) в северной части Охотского моря (начиная от окрестности г. Магадана до  $56^\circ$  с.ш. на западном побережье п-ва Камчатка).

Наиболее низкий уровень сейсмичности отмечается в центральной части Охотского моря, а также в пределах нескольких асейсмичных «окон» первого порядка (северо-запад Охотского моря, юго-западная часть п-ова Камчатка) и второго порядка (вдоль Среднего и Южного Сахалина и о. Хоккайдо, а также в Южно-Охотской или Курильской батинальной котловине).

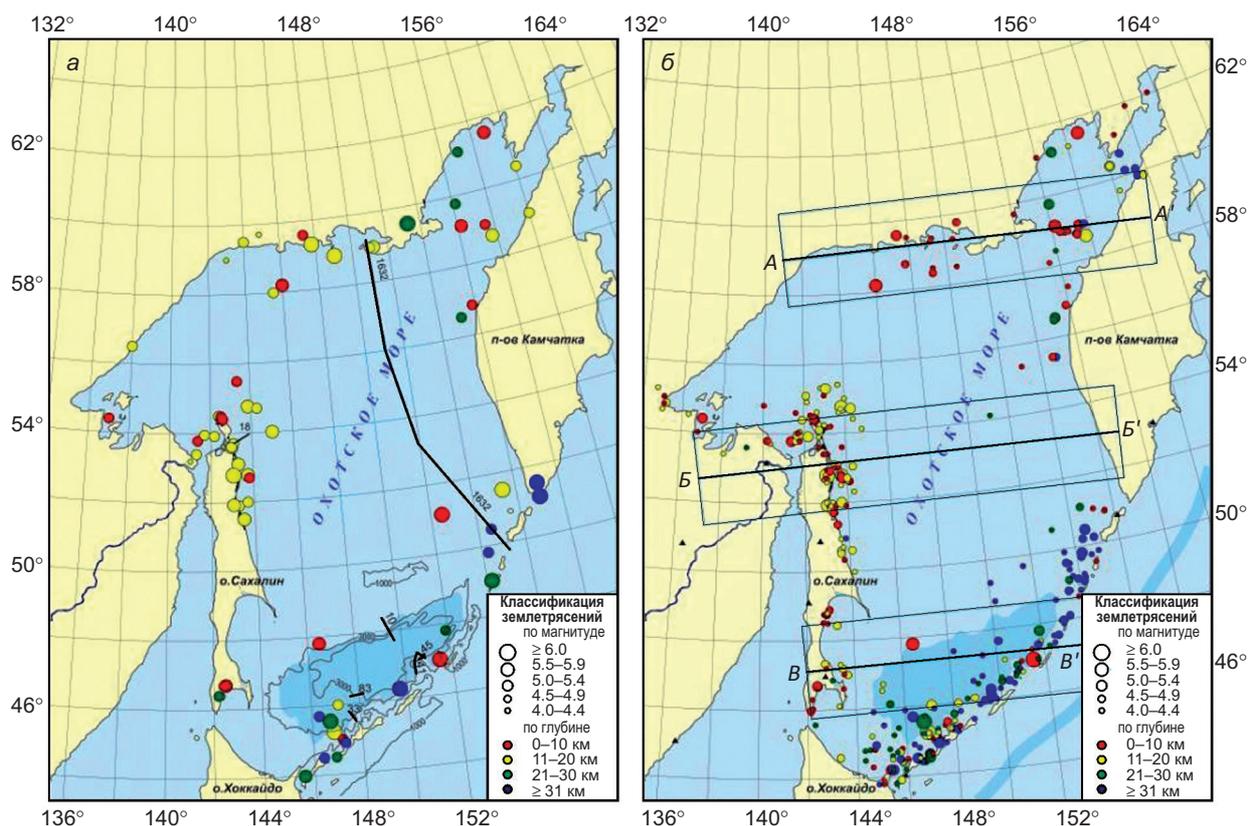
Оценка сейсмического режима с помощью графиков повторяемости землетрясений возможна лишь для трех районов с высокой сейсмичностью, далеко отстоящих друг от друга и характеризующихся различной сеймотектонической обстановкой. Построим графики повторяемости для каждого из них на основе каталога землетрясений с  $M \geq 4.0$  за 1962–2010 гг.

1. Район вблизи северо-восточного побережья о. Сахалин. Через о. Сахалин проходит граница между Североамериканской и Евразийской литосферными плитами, которая отождествляется с системой главных субмеридиональных разломов острова [Прытков, Василенко, 2011]. По данным GPS-наблюдений остров перемещается относительно Евразии в западном направлении со скоростью от 2.5 мм/год на севере до 7.6 мм/год на юге. На всем протяжении острова преобладают деформации субширотного сжатия, сопровождаемые правосторонним сдвигом.

Рассмотрим выборку землетрясений с  $M \geq 4.0$  для данного района, ограничив его по широте значениями  $50.0^\circ$ – $55.7^\circ$  с.ш. Кумулятивный график повторяемости, нормированный на единицу времени 1 год, в диапазоне магнитуд 4.0–6.7 имеет следующий вид:

$$\lg N = (3.65 \pm 0.13) - (0.82 \pm 0.03)M.$$

Согласно этому графику землетрясения с  $M \geq 6.0$  вблизи северо-восточного побережья



**Рис. 1.** *а* — карта эпицентров всех исторических и современных ( $M \geq 5.0, h \leq 60$  км) землетрясений Охотского моря за 1735–2010 гг. с положением профилей НСП и МОГТ. Изобаты (м) показаны фрагментарно (по: [Красный и др., 1981]); *б* — карта эпицентров поверхностных ( $h \leq 60$  км) землетрясений Охотского моря с  $M \geq 4.0$  за 1962–2010 гг. с отрезками прямых А–А', Б–Б', В–В' (осевые линии вертикальных субширотных разрезов сейсмоактивных объемов шириной  $\pm 150$  км). Треугольники — местоположение сейсмических станций

о. Сахалин могут возникать примерно раз в 23 года. Заметим, что период повторяемости таких же событий на севере острова, располагающихся на суше, гораздо меньше, вследствие того, что основные системы субмеридиональных разломов, характеризующихся высокой сейсмичностью, располагаются на суше.

2. *Прикурильский шельф.* Здесь эпицентры землетрясений с  $M \geq 4.0$  занимают полосу, ширина которой максимальна на флангах Курильской гряды (до 150 км и более) и минимальна в центральной ее части (~40 км). Кумулятивный график повторяемости землетрясений на западном шельфе Курильских о-вов имеет вид:

$$\lg N = (3.83 \pm 0.21) - (0.83 \pm 0.04)M.$$

Из полученного графика следует, что сейсмические события с  $M \geq 6.0$  могут происходить здесь примерно 1 раз в 16 лет.

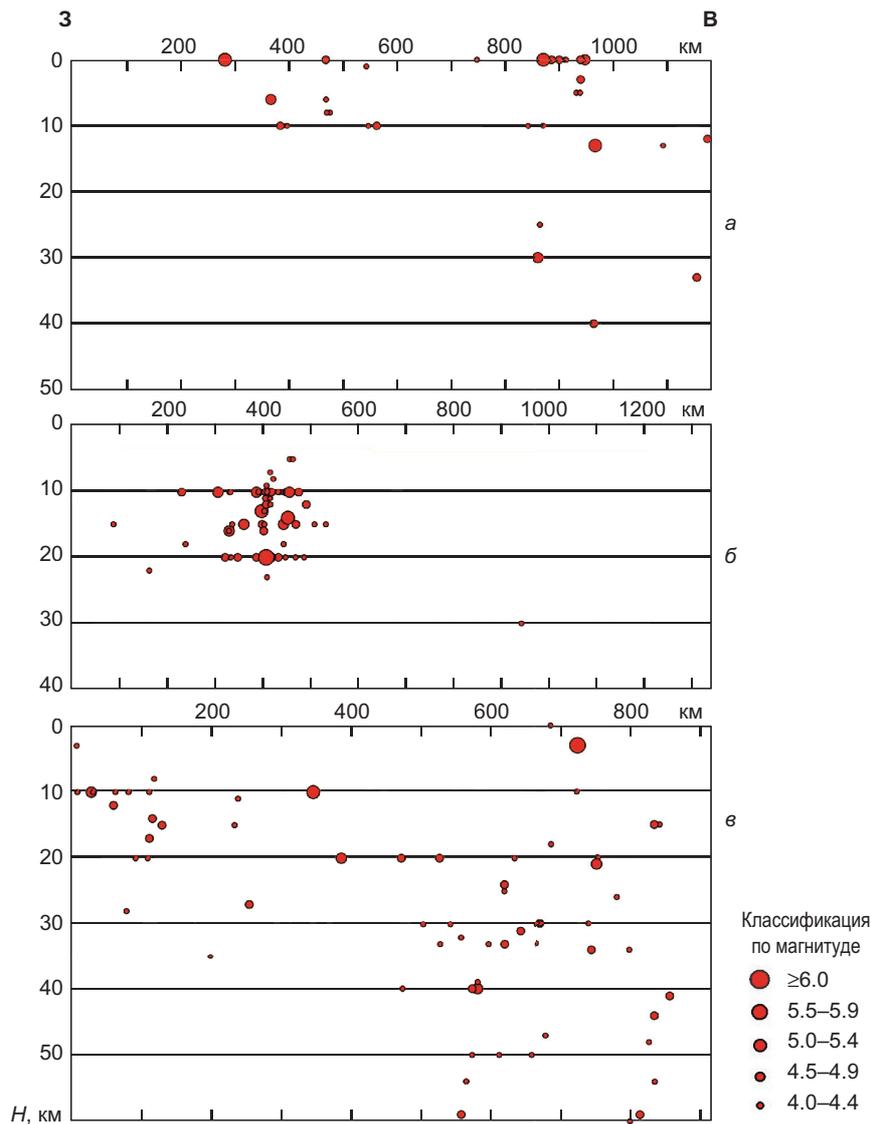
3. *Северная часть Охотского моря.* Сейсмичность этого шельфа, по-видимому, связана с тектонической активностью Охотско-Чукотского

вулканогенного пояса, простирающегося вдоль северного побережья Охотского моря [Козьмин, 1984]. Повторяемость землетрясений третьего района определяется уравнением

$$\lg N = (3.36 \pm 0.32) - (0.77 \pm 0.07)M.$$

Согласно уравнению сейсмические события с  $M \geq 6.0$  в регионе следует ожидать примерно 1 раз в 18 лет.

При рассмотрении трех субширотных разрезов, показанных на рис. 2, обнаруживается существенное различие в глубинности коровых землетрясений. Так, на северном профиле в Примагданье (см. рис. 2, *а*) их глубина не превышает 0–10 км (верхняя кора) с углублением в заливе Шелихова и северо-западе Камчатки до 30–40 км (нижняя кора). Сейсмичность Восточного Сахалина и прилегающей акватории Охотского моря (см. рис. 2, *б*) охватывает всю континентальную кору мощностью ~20–40 км [Тектоника..., 2004]. При сравнении центрального и южного профилей можно заметить, что глубинность ги-



**Рис. 2.** Вертикальные широтные разрезы сейсмоактивных объемов по линиям А–А' (а), Б–Б' (б), В–В' (в) в пределах  $\pm 150$  км относительно этих линий  
 Координаты концевых точек: А ( $59.0^\circ$  N;  $141.0^\circ$  E) – А' ( $58.65^\circ$  N;  $161.40^\circ$  E); Б ( $52.65^\circ$  N;  $137.0^\circ$  E) – Б' ( $53.0^\circ$  N;  $157.0^\circ$  E); В ( $47.1^\circ$  N;  $142.0^\circ$  E) – В' ( $47.2^\circ$  N;  $154.0^\circ$  E)

поцентров возрастает к югу Сахалина от 22 (верхняя кора) до 35 (нижняя кора) км. Таким образом, с учетом верхнекоровых примагаданских событий на западе Охотского моря можно наметить меридиональный тренд углубления мелкофокусной (коровой) сейсмичности к югу.

#### ВОЗМОЖНАЯ ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПРИРОДА МЕЛКОФОКУСНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

В целом по рассматриваемому региону фиксируется окраинная мелкофокусная сейсмичность с обширной асейсмичной зоной в центральной части моря (Охотский свод), открытой на Юго-Западную Камчатку (Соболевский выступ фун-

дамента) и северо-запад (Охотско-Шантарский осадочный бассейн с системой субмеридиональных горстов и грабенов, компенсированных выносами Амура [Геология..., 2002]) (см. рис. 1, 2 и рис. 3). Зоны сейсмичности тяготеют к Курильским о-вам, о. Сахалин, о. Хоккайдо, Северо-Западной Камчатке и Примагаданию, включая залив Шелихова. Сопоставляя карты на рис. 1 с существующими схемами границ Охотской литосферной плиты, находим, что ее северо-западная граница вдоль линии Сахалин–Охотск (и как вариант — между п-овом Шмидта и Шантарским архипелагом (подводное окончание Монголо-Охотского складчатого пояса [Wei, Seno, 1998; Злобин, 2006; Трифонов, Кожурин, 2010])) не опознается

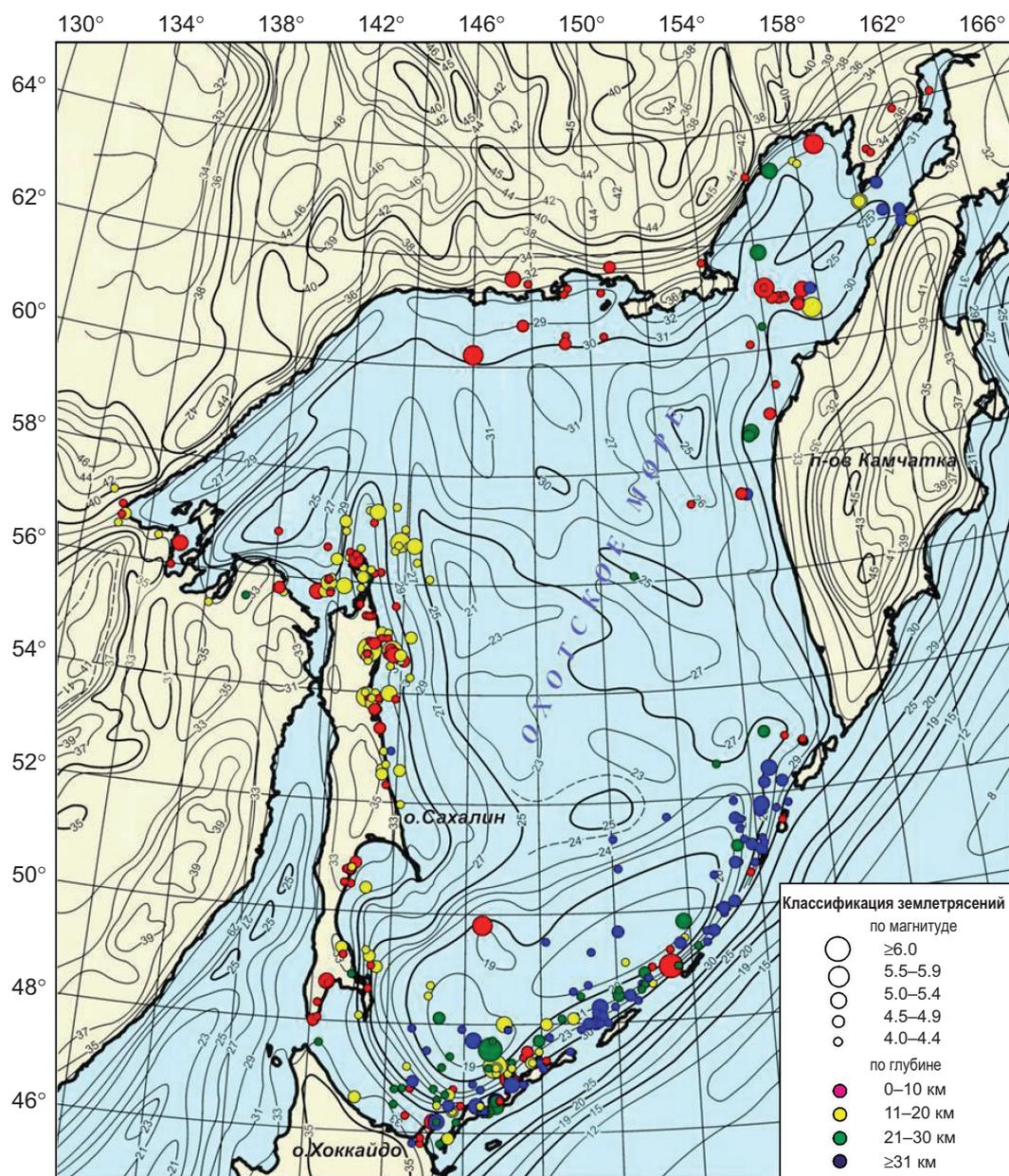


Рис. 3. Карта эпицентров мелкофокусных землетрясений Охотского моря  $M \geq 4.0$  за 1962–2010 гг., совмещенная со схемой глубин (км) поверхности Мохоровичича [Тектоника..., 2004]

(асейсмичная зона). Заметим, что по результатам региональных геофизических исследований асейсмичная зона спрединга, предполагаемая в Курильской котловине [Злобин, 2006], не выделяется в рельефе дна как крупный спрединговый хребет с вершинным рифтом и сопряженными зонами линейных магнитных аномалий [Гнибиденко, 1979; Чуйко и др., 1988; Тектоника..., 2004].

*Охотский свод (срединный массив).* По более ранним представлениям это главная структура впадины Охотского моря. Его контрастный горный рельеф с уплощенными, абрадированными выступами мезопалеозойского акусти-

ческого фундамента традиционно связывали с рифто- и отчасти тафрогенезом в условиях растяжения и опускания жесткой континентальной коры *in situ* [Гнибиденко, 1979; Строение..., 1981; Тектоника..., 2004]. Однако недавнее открытие в строении нагаевской толщи на южной окраине Магадана молодых (позднечетвертичных) структур бокового сжатия [Пахомов, Лямин, 2003] потребовало переинтерпретации проходящего неподалеку регионального профиля МОГТ 1632 ОАО «Дальморнефтегеофизика» [Тектоника..., 2004; Ломтев, 2009], отработанного между магаданским шельфом и Северными Курилами



← **Рис. 4.** Фрагмент карты структурных элементов осадочного чехла Охотского моря (а) и интерпретированный глубинный разрез МОГТ 1632 (б) [Тектоника..., 2004; Ломтев, 2009]

1 — выходы акустического фундамента на дне; 2 — вулканы плиоцен-четвертичного возраста; 3 — оси относительных поднятий (А) и прогибов (Б); 4 — границы тектонических элементов и зон (А) и структур в пределах зон (Б); 5 — номера структурных элементов; 6 — положение профиля МОГТ 1632; 7 — положительные магнитные аномалии с карты Л.М. Лютой (см.: [Ломтев, 2009]) над Кони-Пьягинской (справа) и Магаданской мегадайками; 8 — побережье Охотского моря. Цифрами обозначены: *поднятия*: 15 — Северо-Охотское, 98 — Западно-Тинровское, 99 — Восточно-Тинровское, 88 — Центрально-Охотское, 93 — Лебеда, 101 — Атласовское, 43 — Соболевское, 46 — Большерецкое, 106 — Алайд-Парамуширское, 109 — Онекотанское; 110 — Экарма-Симуширское; *прогибы*: 19 — Кони, 16 — Мотыклейский, 95 — Северо-Западный Тинровский, 96 — Центральный Тинровский, 91 — Лебеда, 91а — Линейный, 100 — Центрально-Охотский, 44 — Кольский, 45 — Большерецкий, 107 — Гольгинский, 108 — Четвертого Курильского пролива. Поворот профиля МОГТ 1632 с СЗ направления на субмеридиональное в направлении Магадана происходит на пикете 445 км. На разрезе стрелками с точками намечены разломы сжатия с активным висячим крылом. Положение профиля см. также на рис. 1, а

(рис. 4). Временной разрез профиля опубликован в работе [Международный..., 2003], но без геологической интерпретации.

На рис. 4 обращает на себя внимание моноклиальный облик гряд акустического фундамента, который опознается по их разнонаклонным склонам высотой до 5–6 км. Так, у Центрально-Охотской гряды (мегамоноклиаль), ограничивающей с юга Северо-Охотский прогиб, передний фас имеет наклон  $45^\circ$ , а тыловой —  $16^\circ$ . При этом ширина гряд превышает 10–20 км. Согласно [Ломтев, 2008], моноклинали образуются при пластовом срыве в коре и в разрезе ограничены чешуйчатыми надвигами. Последние вблизи выхода нередко осложнены складчатостью и переходят во взбросы. Их положение намечено по аналогии со структурной интерпретацией разрезов МОГТ и НСП в работах [Ломтев, Патрикеев, 1985; Ломтев, 2010]. В частности, фронтальный (подошвенный) надвиг каждой пластины как бы продолжает пологий внешний борт смежного прогиба на глубину, где он разделяет аллохтонный и автохтонный блоки фундамента. Тип разломов определялся с использованием принципа Лагранжа при определении их активного крыла.

В итоге по обе стороны от Кольского прогиба (зона раздвига с молодым диапиром) обозначилась встречное падение надвигов и взбросов, характерное для зоны развития дивергентного гравитационного срыва. Иначе говоря, раздвиг разделил Охотский свод на два аллохтонных мегаблока, медленно расходящихся к северу и югу. Самой крупной пластиной северного мегаблока является Центрально-Охотская мегамоноклиаль шириной 180 км, состоящая из нескольких чешуй. Судя по рельефу кровли фундамента, одни из чешуй можно отнести к пластовым моноклиналям, другие — к складчатым, хотя первые также имеют местами мелкую складчатую гофрировку. Таким об-

разом, судя по стилю дислокаций в охотской части профиля МОГТ 1632 доминирует сжатие земной коры, исключая узкую зону раздвига. Со сжатием связано четвертичное воздымание некоторых гряд, например Лебеда, на 1.0–1.5 км, формирование надвигов северного мегаблока свода по региональному восстанию дна и кровли фундамента аналогично региональным шарьяжам фундамента в тихоокеанских желобах [Ломтев, Патрикеев, 1985].

Другой характерной чертой строения Охотского свода являются рамповые полуграбены. Так, Северо-Охотский и более мелкие прогибы, компенсированные кайнозойскими осадками, в поперечном сечении асимметричны (полуграбены или так называемые односторонние грабены) [Большаков и др., 1989]. Их борта слабо террасированы разломами, особенно крутые (до  $45^\circ$ ), к которым тяготеют депоцентры прогибов. Полуграбены сопряжены с моноклиальными грядами фундамента, формируя покровные тектонопары «надвиговая моноклиаль–рамповый полуграбен». Образование тектонопар по аналогии с тихоокеанскими желобами [Ломтев, Патрикеев, 1985] вызвано надвиганием аллохтонных масс акустического фундамента и опусканием автохтона под их давлением (этот механизм предполагал для Перу-Чилийского глубоководного желоба еще А. Вегенер [1925]), а также отчасти присутствием пластичных толщ в подстилающем разрезе. Некоторые авторы связывают полуграбены с растяжением коры в сдвиговых зонах в рамках популярной концепции pull-apart basins (висячие бассейны [Июгансон, 2005]). Однако этому противоречат следующие данные: площадное, а не линейное, как у сдвигов, развитие упомянутых покровных тектонопар (см. рис. 4; [Тектоника..., 2004]); признаки молодого (четвертичного) воздымания некоторых моноклиальных гряд и бо-

кового сжатия на окраине г. Магадана [Пахомов, Лямин, 2003]; встречное падение чешуйчатых надвигов акустического фундамента по профилю МОГТ 1632.

Одним из важных признаков развития срыва земной коры в Охотском море является инверсия скорости (до 0.5 км/с) по материалам ГСЗ [Тектоника..., 2004; Ломтев, 2008, 2009], обнаруженная в слое мощностью 4 км, залегающем в низах аллохтона непосредственно над границей Мохоровичича (деколлемент, или поверхность срыва). Региональный наклон последней под горно-равнинное обрамление впадины Охотского моря способствует развитию гравитационного корового срыва коры в кайнозой [Ломтев, 2008, 2009].

*Курильская (Южно-Охотская) батинальная котловина.* В ранних работах ее считали наиболее погруженной частью Охотского срединного массива, позднее — частью впадины Пацифики, отгороженной Курильской дугой в кайнозой, или связывали ее образование с магматическим диапиризмом [Кариг, 1974; Родников и др., 2005], тыловодужным спредингом и формированием тонкой субокеанической коры [Злобин, 2006; Прокудин, Медведев, 2011]. С точки зрения принятых представлений о кайнозойском рифтогенезе, генезис котловины неясен, так как нет развитой системы рифтовых грабенов и горстов, ограниченных нормальными сбросами [Строение..., 1976, 1981; Гнибиденко, 1979; Геология..., 2002]. Рассмотрим кратко особенности строения северного и восточного бортов Курильской котловины по данным НСП и промера (рис. 5).

О строении северного борта можно судить по эхограмме со ступенчатыми (нормальными) сбросами [Баранов, Вольнев, 1982] и разрезу НСП по профилю 10 на рис. 5 в интерпретации В.Л. Ломтева. Выделение сбросов на борту Курильской котловины согласуется с представлениями о растяжении и опускании земной коры Охотского моря [Гнибиденко, 1979]. Такая практика тектонической интерпретации ступенчатых склонов по эхограммам, сложившаяся в морской геологии и геоморфологии до появления методов НСП и МОГТ [Менард, 1966]. Однако в данном случае подобная трактовка оказалась ошибочной по меньшей мере по двум причинам. Во-первых, профиль НСП надежно фиксирует сейсмofации реликтового (отмершего) подводного фана (конус выноса) в нижней части борта с руслами, обвалованными намывными дамбами, которые и формируют упомянутые «ступени». Во-вторых, тектонические ступени на склонах образуют не только разломы растяжения, но и разломы сжатия (надвиги и взбросы), что следует из данных НСП и МОГТ и материалов тектонического моделирования [Ломтев, Патрикеев, 1985].

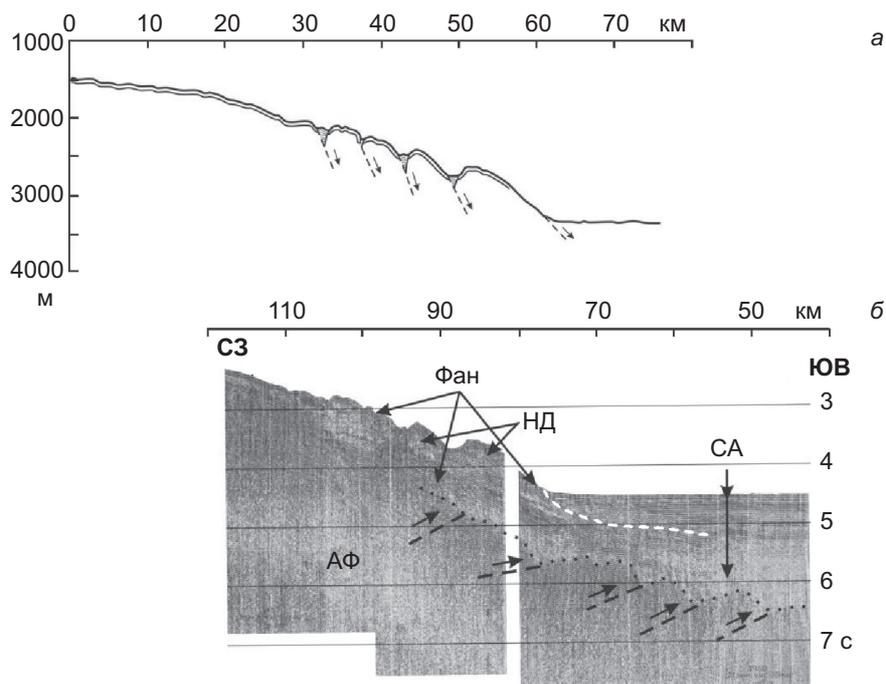
Так, на том же профиле ступенчатый профиль кровли фундамента формируют пологие малоамплитудные надвиги. Медленное смещение чешуй фундамента по ним направлено к югу и продолжается до сих пор, что отчасти фиксирует сквозная антиклиналь в кайнозойском чехле, почти достигающая дна (см. рис. 5).

Более масштабная гравитационная тектоника предполагается на восточном борту котловины, или Охотской подводной окраине Курильской дуги. Одним из примеров является асимметричная надвиговая антиклиналь шириной более 15 км на профиле НСП 33 близ о. Итуруп (рис. 6). Антиклиналь представляет собой складку бортового отпора, связанную с медленным сползанием кайнозойского чехла и, возможно, акустического фундамента.

Другой пример — крупный надвиг (ретронадвиг) на региональном профиле МОГТ 1620, проходящем через прол. Фриза между островами Итуруп и Уруп. Под давлением аллохтонных масс его висячего крыла акустический фундамент (автохтон) погрузился на 2 км по сравнению с прилегающим ложем котловины [Чуйко и др., 1988; Тектоника..., 2004]. На других профилях НСП и МОГТ ретронадвиг не выделяется (скрытый разлом), что связано с газонасыщенностью кайнозойского чехла (см. профиль 33 на рис. 6) и придонными газогидратами [Бондаренко, Рашидов, 2011]. Подтверждением существования ретронадвиги являются также батинальные грязевулканы близ прол. Буссоль [Бондаренко, Рашидов, 2011], если их генезис сопоставлять с Южно-Сахалинским и Пугачевским грязевулканами на выходе Центрально-Сахалинского регионально-го взбросо-надвига [Веселов и др., 2004].

С гравитационной тектоникой, вероятно, связано эшелонирование восточного борта Курильской котловины диагональными грядами [Геолого-геофизический..., 1987], сходное с диагональными антиклиналями сползающего кайнозойского чехла в тылу Камышевого моноклинория Сахалина [Чуйко и др., 1988; Ломтев, 2010б], а также сложное, покровно-складчатое строение фундамента и кайнозойского осадочного выполнения нефтегазоносного Западно-Камчатского краевого прогиба с многочисленными до-, кон- и постседиментационными разломами [Чуйко и др., 1988; Ким, 2010].

Вместе с тем сейсмичность восточной и южной части Курильской котловины в основном заглублена (30–60 км) по сравнению с Западной Камчаткой (см. рис. 1–3). Это может указывать на опускание котловины под давлением сползающих масс на склонах Курильской и Японо-Сахалинской дуг, оттока магматических масс к поверхности и связанного с ним утяжеления коры. Рассмотрим послед-



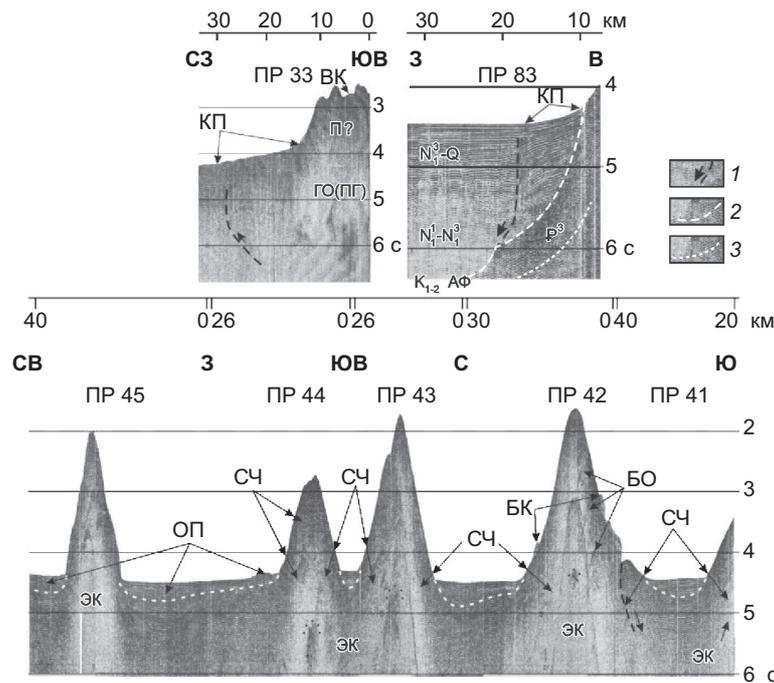
**Рис. 5.** Фрагменты профиля НСП 10 (21-й рейс НИС «Пегас»-1980) через северный борт Курильской (Южно-Охотской) котловины (а) и эхограммы со ступенчатыми сбросами [Баранов, Вольнев, 1982] (б) АФ — акустический фундамент (кровля обозначена точками); НД — намывные дамбы долин фана (подводный конус выноса); СА — сквозная антиклиналь в кайнозойском чехле; стрелки с пунктиром — малоамплитудные надвиги фундамента, формирующие ступенчатый профиль его кровли, и смещение по ним. Положение профиля см. на рис. 1, а. Вертикальный масштаб на профиле дан в секундах двойного пробега

нее, воспользовавшись рис. 6, где видно строение нескольких конических гор у подножья охотской окраины близ о. Броутон (профили НСП 41–45; рис. 1, а). Высота гор во многих местах превышает 2 км, диаметр основания — 15–30 км, крутизна склонов —  $\sim 15^\circ$ . Традиционно эти и другие конические горы и их холмы считали подводными вулканами, т.е. насыпными, в основном лавошлаковыми постройками [Туезов, 1977; Геолого-геофизический..., 1987; Подводный..., 1992; Емельянова, Леликов, 2010]. Однако на профилях НСП 41–45 вершины и склоны гор слагает кайнозойский осадочный чехол, прослеженный через смежные седловины. Следовательно, эти горы возникли при внедрении вязкой магмы в чехол (магматические диапиры или экструзивные купола с мощными осадочными шапками). В седловинах придонные осадки мощностью  $\sim 0.2\text{--}0.4$  км залегают горизонтально, что фиксирует прекращение их роста (реликтовые формы). Об относительном возрасте гор можно судить по средней скорости роста магматических куполов — 1–2 мм/год [Кукал, 1987] и скорости накопления ( $\sim 100\text{--}200$  м/млн лет) контрастных осадков межгорных линз [Ломтев, 2010а]. В первом случае он составит 0.5–3, во

втором — 1–4 млн лет, что близко радиоизотопным датировкам вулканитов (0.9–4.1 млн лет), датируемых с подводных гор Курильской котловины [Емельянова, Леликов, 2010].

Вместе с тем на профиле НСП 83 (см. рис. 6) склон более древней (предмиоценовой) экструзивной горы (палеорельеф) слагают олигоценые морские(?) отложения, отсутствующие на ложе Курильской котловины. Следовательно, кровлю акустического фундамента с шероховатыми сейсмофациями (трапповый элювий) здесь слагают субаэральные меловые траппы палеосуши Охотии [Ломтев и др., 2002], что согласуется с материалами параметрического бурения в Северо-Охотском прогибе [Большаков и др., 1989]. Таким образом, Курильская котловина является наиболее погруженной (4–5 км) частью Охотского свода (срединного массива), с опусканием которой, вероятно, связано заглубление мелкофокусной сейсмичности (см. рис. 1, 2).

*Охотская подводная окраина Сахалина.* Судя по рис. 1, 2, мелкофокусная сейсмичность распространена на побережье и подводных окраинах Северного и Юго-Восточного Сахалина (Восточно-Сахалинский взбросо-надвиг [Маргулис и др.,



**Рис. 6.** Профили НСП 21-го рейса НИС «Пегас»-1980 по Охотской подводной окраине Курильской дуги КП — континентальное подножие; ГО(ПГ) — газовое окно (парогидротермы); Л — лакколит; ВК — вершинный кратер; ЭК — экструзивный купол с осадочной шапкой; СЧ — склоновые чехлы; ОП — оползни; БК — боковые конусы; БО — боковые отражения. Пунктиры со стрелкой — разломы и смещение по ним; прозрачный пунктир — несогласие; прозрачные точки — кровля ядра протыкания экструзий. Положение профилей см. на рис. 1, а

1979; Геолого-геофизический..., 1987]) и локально в вершине зал. Терпения (Макаровский компенсированный прогиб, ограниченный с запада Центрально-Сахалинским взбросо-надвигом [Мельников, 1987; Чуйко и др., 1988]). Глубина гипоцентров возрастает от 20–25 км на севере до 30–35 км на юге. Коровая сейсмичность характерна и для территории острова [Поплавская и др., 2006], кроме юга, где регистрируются и глубокие землетрясения фокальной зоны Беньюфа [Тараканов, 2006; Ломтев и др., 2012].

Традиционно мелкофокусную сейсмичность Сахалина связывают с его главными меридиональными надвигами [Смехов, 1953; Мельников, 1987; Воейкова и др., 2007]. Но в последние годы остров интерпретируют как границу мезозойских литосферных плит с вариантами ее проведения вдоль Западно- и Центрально-Сахалинского региональных разломов [Wei, Seno, 1998; Злобин, 2006; Трифионов, Кожурин, 2010; Прытков, Василенко, 2011]; также делается акцент на сдвиговой компоненте смещений по активным разломам [Мельников, 1987; Харахинов, 2010]. Однако геологическая молодость о. Сахалин, возникшего в сахалинскую фазу складчатости и орогенеза (плиоцен или конец позднего плиоцена —

квартер), асейсмичность подкоровой мантии и, напротив, сейсмичность континентальной коры мощностью 35–40 км надежно фиксируют тектоническую мобильность последней (см. рис. 3).

С учетом региональных надвигов и асимметричного, моноклинового строения антиклинориев о. Сахалин, В.Л. Ломтев с соавторами [2007] пришли к выводу о разновозрастном, амагматичном срыве континентальной коры к востоку. Амплитуды горизонтального смещения ее восточной и западной аллохтонных пластин, формирующих горные системы Восточного и Западного Сахалина соответственно, видимо, невелики (до 5–10 км). Заметнее вертикальные деформации, которые в Чайвинской синклинали нефтегазоносного шельфа Северо-Восточного Сахалина (Северо-Сахалинский осадочный бассейн) превышают 12 км, если их измерять по кровле мелового акустического фундамента [Чуйко и др., 1988; Харахинов, 2010]. Исследование коровой сейсмичности этого шельфа в настоящее время проводится с использованием наземных цифровых сейсмостанций и донных сейсмографов, чтобы обеспечить сейсдобезопасность и сейсмический риск поискового и эксплуатационного бурения, а также системы нефте- и

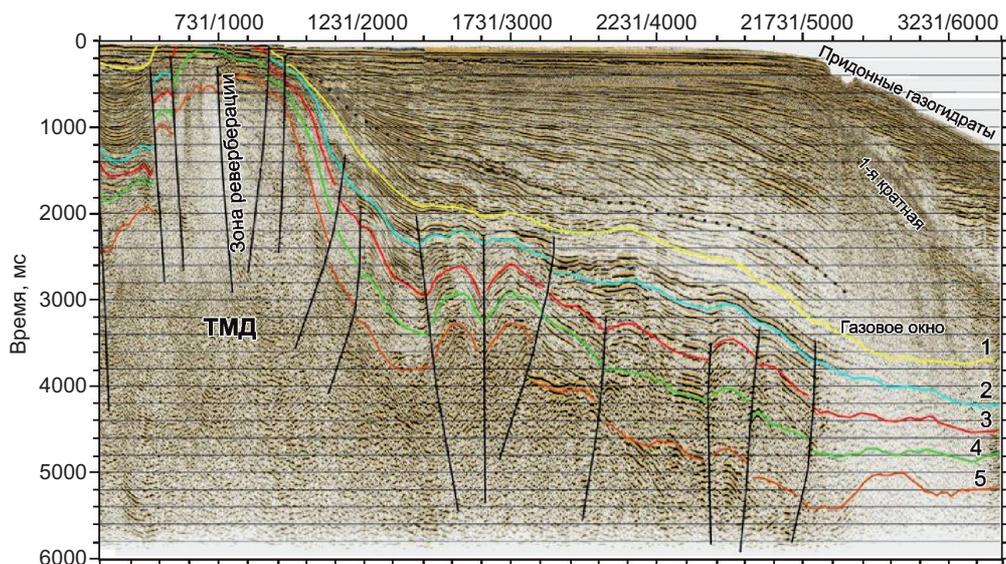


Рис. 7. Фрагмент профиля МОГТ 18 на подводной окраине Северного Сахалина [Литвинова, Ломтев, 2010]

1–5 — разломы и границы осадочных сейсмокомплексов по данным геологической службы ОАО «Дальморнефтегеофизика»: 1 — кровля нутовского комплекса позднего миоцена-раннего плиоцена; 2 — кровля окобыкайского комплекса среднего-позднего миоцена; 3 — кровля дагинско-уйнинского комплекса раннего-среднего миоцена; 4 — кровля даехуриинско-люкаминского комплекса палеогена; 5 — кровля акустического фундамента, сложенная породами позднего мела. Горизонтальный масштаб определяется между точками SP/CDP и составляет 25 и 12.5 м соответственно. Точки маркируют локальное несогласие между помырскими и дерюгинскими осадками, возникшее после внедрения Трехбратской мегадайки ультрабазитов (ТМД) [Ломтев, Литвинова, 2012]

газопроводов между разрабатываемыми месторождениями и берегом.

В контексте настоящей работы обратим внимание на Трехбратскую (Восточно-Одоптинскую) мегантиклиналь протяженностью 360 км на северо-восточном шельфе о. Сахалин, в окрестности которой отмечаются эпицентры мелкофокусных землетрясений (см. рис. 1, 2). Традиционно ее считали краевым поднятием Северо-Сахалинского осадочного бассейна, ограничивающим его с востока [Лопатнев и др., 1989]. Мегантиклиналь маркируют линейные положительные аномалии магнитного и гравитационного полей, включая Восточный хребет п-ова Шмидта с массивом раннемезозойских серпентинитов [Маргулис и др., 1979]. Авторы упомянутой работы выделили здесь зону Восточно-Сахалинского глубинного разлома с телами ультрабазитов. Позднее на профилях МОГТ в позднекайнозойском чехле над этой зоной были обнаружены сквозные постседиментационные антиклинали с абрадированными в позднем квартале сводами (рис. 7; [Ломтев, Литвинова, 2012]). Следовательно, формирование таких складок произошло в раннем-среднем квартале и было связано с повторным внедрением ультра-

трабазитов по зоне Восточно-Сахалинского глубинного и долгоживущего мезокайнозойского разлома (Трехбратская мегадайка). На рис. 7 последнее также фиксирует расположенное мористее локальное угловое несогласие, разделяющее помырские и косослоистые дерюгинские осадки (конец позднего плиоцена-квартал по В.О. Савицкому [Чуйко и др., 1988]). Формирование несогласия и косослойной серии придонных осадков связано с появлением топографического барьера (интрузивная мегантиклиналь) перед фронтом авандельты палео-Амура [Ломтев, Литвинова, 2012].

В.В. Харахинов [2010] рассматривает Трехбратскую структуру как холодную протрузию мезозойских серпентинитов. Однако развитие придонных газогидратов у края шельфа как реликта вечной мерзлоты при его осушении в позднем квартале, т.е. на удалении от мегадайки, указывает на повышенный теплопоток, исходящий от нее, который, вероятно, мог способствовать термогенерации углеводородов в Северо-Сахалинском осадочном бассейне [Ломтев, Литвинова, 2012]. С апофизой (ответвлением) горячей мегадайки, возможно, связаны прибрежные Дагинские термальные источники.

Таким образом, утяжеление коры Северного Сахалина, вызванное недавним внедрением ультрабазитов Трехбратской мегадайки, и отчасти хотя бы эпизодическое проявление корового и/или внутрикорового срыва к востоку (см. рис. 1, 2) генерируют мелкофокусную сейсмичность как в аллохтоне, так и в проседающем под нагрузкой автохтоне. Сходная в сеймотектоническом плане ситуация наблюдается южнее, на подводной окраине Восточно-Сахалинских гор Среднего Сахалина, где по геофизическим данным намечается молодая Пограничная мегадайка ультрабазитов [Мельников, 1987; Ломтев и др., 2007].

Аномальным в структуре охотской окраины о. Сахалин является почти асейсмичный шельфовый блок зал. Терпения с прилегающими районами. По своему строению на профилях НСП и МОГТ — это типичная равнинная столовая страна (платформа) с морским меловым осадочным основанием, пологим региональным наклоном к западу и развитой долиной древовидной сетью палео-Пороная с авандельтой близ г. Макаров [Чуйко и др., 1988]. В раннем кайнозое, вероятно, она еще являлась частью Охотского срединного массива, а позднее была оторвана при развитии корового срыва к востоку.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Итак, по материалам вновь созданных каталогов устанавливается периферийный характер мелкофокусных землетрясений в пределах акватории Охотского моря с крупным асейсмичным ареалом в центральной части моря (Охотский свод), открытый к северо-западу (грабены и горсты Охотско-Шантарского осадочного бассейна) и в сторону Юго-Западной Камчатки (Соболевский выступ). Подобное распределение землетрясений указывает на ведущую роль процессов орогенеза в формировании горно-равнинного обрамления Охотского моря (Курило-Камчатская и Японо-Сахалинская островные дуги). Среди них традиционно выделяют глубинный надвиг по зоне Беньофа [Сергеев, 1976], или подвиг в теории тектоники литосферных плит [Пишон и др., 1977]. С глубинным надвигом в эпоху глобальной пасаденской орогении (по Г. Штилле) связано формирование Курило-Камчатского глубоководного желоба, средней и нижней (тектонопара «шарьяж фундамента – аккреционная призма») частей тихоокеанского склона одноименной дуги в среднем квартале–голоцене [Ломтев, Патрикеев, 1985; Тихонов, Ломтев, 2011; Ломтев и др., 2012], а также активный магмо- (вулканическая дуга и подводный, преимущественно экструзивный, вулканизм), сейсмо- (встречные фокальные зоны и аллохтонная сейсмичная кора) и цунами-

генез (региональные тектонические цунами фокального ромба и оползневые локальные цунами в каньонах и на крутых открытых склонах). Горизонтальное смещение Курильской дуги на ложе Северо-Западной Пацифики за последние 0.5–1 млн лет составило от 30 км в центральной части до 50–70 км на флангах при мощности шарьяжа фундамента (Пегаса) в корне 10–20 км.

Отсутствие молодого продольного раздвиг в Курильской котловине, параллельного островной дуге и компенсирующего ее надвигание к востоку, позволяет предполагать аллохтонное залегание континентальной земной коры и, возможно, верхов мантии (до уровня астеносферы [Родников и др., 2005]) в Охотском море. С учетом инверсии скорости над границей Мохоровичича на профилях ГСЗ приходим к выводу о развитии именно корового, а не верхнемантийного гравитационного срыва [Ломтев, 2009]. На профиле МОГТ 1632 (см. рис. 6) встречные надвиги акустического фундамента фиксируют его субмеридиональную и противоположную направленность движения мегаблоков Охотского свода относительно Кольского прогиба (зона раздвиг). Однако рельеф границы Мохоровичича на рис. 3 и выводы ряда исследователей о тонкой (~14 км) субокеанической коре новообразованной(?) Курильской котловины [Прокудин, Медведев, 2011] вступают в противоречие с предполагаемым гравитационным смещением южного мегаблока Охотского свода к югу. И напротив, оно согласуется с направлением смещения фундамента по малоамплитудным надвигом северного борта котловины на профиле 10 (см. рис. 5). Выход из этого противоречия, вероятно, дает Е.А. Старшинова [1980]; по ее данным, глубина границы Мохоровичича в Курильской котловине достигает 28 км.

Сейсмичность охотских окраин Курильской дуги и Камчатки, включая зал. Шелихова (см. рис. 1), с учетом данных НСП и МОГТ, вероятно, можно связать с развитием регионального ретронадвиг и вызванного этим опускания его автохтона и прилегающего дна Охотского моря в тылу глубинного надвига зоны Беньофа. Последнее утверждение поддерживают материалы статьи [Гордеев и др., 2006] по коровой (0–55 км) сейсмичности Камчатки, фиксирующие широтный тренд ее усиления к выходу зоны Беньофа на тихоокеанском склоне полуострова (см. также [Тектоника..., 1980; Геолого-геофизический..., 1987]). Сходный тренд можно проследить в коровой сейсмичности Курильской и Японской (Тохоку) дуг [Асано и др., 1978; Хасегава и др., 1978; Тектоника..., 1980], а также Камышового моноклинория о. Сахалин с Центрально-Сахалинским взбросо-надвигом во фронте и Западно-Сахалинским взбросом в тылу [Ломтев, 2010б; Тихонов, Ломтев, 2012].

Наиболее мелкофокусную (0–10 км) сейсмичность демонстрирует магаданский шельф (см. рис. 1, 2). Здесь важно обратить внимание на медленное смещение северного мегаблока Охотского свода, Кони-Пьягинскую и Магаданскую молодые (ранний-средний квартал) мегадайки ультрабазитов на профиле МОГТ 1632 (см. рис. 6; [Ломтев, 2009]), маркирующие южный фланг мелового Охотско-Чукотского вулканического пояса и заметное увеличение (до 55 км) мощности континентальной коры на магаданском побережье [Сурков и др., 2003]. Увеличение мощности и утяжеление коры, очевидно, затруднили развитие гравитационного срыва вдоль границы Мохоровичича к северу, что, вероятно, способствовало региональному подъему деколлемента в верхнюю кору, т.е. переходу корового срыва во внутрикоровый.

Заглубление мелкофокусных землетрясений с юга на север наблюдается на сахалинском и курильском бортах впадины Охотского моря (см. рис. 1, 2). На первом оно установлено более надежно [Нагорных и др., 2003] и связывается с коровым и/или внутрикоровым срывом к востоку, местами осложненным крупными интрузиями ультрабазитов [Ломтев и др., 2007]. На втором оно, вероятно, отражает региональное опускание ложа Курильской котловины как наиболее погруженной южной части Охотского свода (срединный массив). Опускание может быть компенсационным — связанным с оттоком магматических масс от кровли зоны Беньофа к поверхности и соответствующим утяжелением континентальной коры и нагрузки на подстилающую мантию. Не исключено также влияние тектонического погружения в тыловых зонах региональных надвигов, проявленное, например, при мегаземлетрясении Тохоку [Рогожин, 2011]. Однако эта проблема требует специального изучения, как и асейсмичность зоны протяженных субмеридиональных грабенов и горстов мезопалеозойского фундамента на мелководном северо-западе Охотского моря (Охотско-Шантарский осадочный бассейн), которые со структурами Охотского свода и Северо-Охотского прогиба образуют входящий структурный угол близ г. Охотска [Чуйко и др., 1988; Геология..., 2002; Тектоника..., 2004]. Одним из наиболее надежных средств изучения мелкофокусной сейсмичности нефтегазоносных шельфов и аваншельфа Охотского моря является установка донных сейсмографов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных авторами исследований созданы два каталога мелкофокусных ( $h \leq 60$  км) землетрясений за исторический и современный периоды наблюдений в пределах акватории

Охотского моря: каталог сильных ( $M \geq 5.0$ ) землетрясений за 1735–2010 гг. и более детальный ( $M \geq 4.0$ ) каталог за 1962–2010 гг. Карты эпицентров землетрясений и вертикальных субширотных разрезов сейсмоактивных объемов, построенные по данным этих каталогов, позволили получить более объективную картину пространственно-временного распределения сейсмичности в регионе и связать ее с тектоникой земной коры. Установлено, что исторические и современные (1735–2010 гг.) мелкофокусные землетрясения Охотского моря локализованы на прикурильской, северосахалинской, примагаданской, включая зал. Шелихова, северо- и южнокамчатской подводных окраинах.

Центральная часть моря в основном асейсмична (Охотская жесткая глыба, или срединный массив в обрамлении кайнозойских складчатых областей). Обширные асейсмичные «окна» выявлены на северо-западе Охотского моря и на юго-западной подводной окраине Камчатки. Небольшие «окна» прослеживаются вдоль Среднего и Южного Сахалина, о. Хоккайдо и в Курильской батинальной котловине. При сопоставлении сейсмичности со схемами Охотской литосферной плиты ее северо-западная граница не опознается из-за наличия асейсмичной зоны.

Для мелкофокусной (коровой) сейсмичности Охотского моря характерна разноглубинность: от 0–10 км на магаданском шельфе до 20–30 км — на сахалинском, 0–40 км — на северо-камчатском (включая зал. Шелихова) шельфах и в основном 30–60 км — на охотской окраине Курильской дуги и юге одноименной котловины. Она надежно фиксирует мобильность континентальной коры региона и ее аллохтонное залегание на асейсмичной мантии, что подтверждают и материалы сейсморазведки ГСЗ, МОГТ и НСП. На охотской окраине Курило-Камчатской дуги доминирует гравитационное сползание чехла и, возможно, фундамента в тылу глубинного надвига зоны Беньофа. Заглубление мелкофокусной сейсмичности в Курильской котловине — наиболее погруженной части Охотского свода, вероятно, вызвано компенсационным опусканием ее ложа из-за оттока магматических масс к поверхности (экструзивный подводный вулканизм) и утяжеления коры.

На охотской окраине о. Сахалин почти асейсмичен жесткий платформенный блок зал. Терпения, а мелкофокусная сейсмичность к северу и югу от него связана с Восточно-Сахалинским долгоживущим краевым разломом, внедрением крупных масс ультрабазитов (мегадайки) и хотя бы эпизодическим коровым и внутрикоровым (на севере) срывом земной коры к востоку. Асейсмичный Охотский свод (срединный массив) как главная структура Охотского моря с развитой си-

стемой покровных тектонопар «моноклиальная гряда – рамповый полуграбен» по данным профиля МОГТ 1632 является зоной медленного дивергентного срыва континентальной коры к северу и югу от Кольского прогиба (зона раздвига). В его северном мегаблоке деколlement (поверхность срыва), вероятно, в связи с утолщением (до 55 км) и утяжелением (мегадайки) аллохтонной коры поднимается с ее подошвы в верхнюю кору.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны О.А. Жердевой и М.Г. Гуринову за помощь в компьютерной подготовке графического материала.

### ЛИТЕРАТУРА

- Асано С., Окада Х., Йосии Т. и др. Структура коры и верхней мантии под Северо-Восточной Японией, установленная по сейсмическим наблюдениям при взрывах // Новые данные о строении коры и верхней мантии Курило-Камчатского и Японского регионов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. С. 22–34.
- Баранов В.В., Вольнев В.М. О некоторых особенностях геоморфологии северного и западного склонов глубоководной котловины Охотского моря // Структура и состав осадочного чехла северо-запада Тихого океана. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 81–86.
- Большаков А.К., Большакова Р.А., Шаинян С.Х. О возрасте осадочных образований Северо-Охотского прогиба // Возраст геологических образований Охотоморского региона и прилегающих территорий. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 16–26.
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А. Проявления процессов гидратообразования и грязевого вулканизма в районе пролива Буссоль (Курильская островная дуга) // Геология морей и океанов: Материалы XIX Межд. науч. конф. (школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2011. Т. V. С. 38–42.
- Ващилов Ю.Я., Гайдай Н.К., Зимникова Т.П. и др. Продолжение линейных структурных элементов береговой рамы в Североохотоморской акватории // Геодинамика, геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов Дальнего Востока России. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2004. Т. 1. С. 22–38.
- Вегенер А. Возникновение материков и океанов. М.; Л.: Гос. изд-во, 1925. 145 с.
- Веселов О.В., Волгин П.Ф., Лютая Л.М., Паровышний В.А. Особенности строения верхнемелового комплекса Пугачевского грязевого вулкана по геофизическим данным // Геодинамика, геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов Дальнего Востока России: Докл. Межд. симп. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2004. Т. 1. С. 145–156.1
- Воейкова О.А., Несмеянов С.А., Серебрякова Л.И. Неотектоника и активные разломы Сахалина. М.: Наука, 2007. 186 с.
- Геология и нефтегазоносность Охотско-Шантарского осадочного бассейна. Владивосток: ДВО РАН, 2002. 143 с.
- Геолого-геофизический атлас Курильской островной системы. Л.: ВСЕГЕИ, 1987. 36 л.
- Гнибиденко Г.С. Тектоника дна окраинных морей Дальнего Востока. М.: Наука, 1979. 163 с.
- Гордеев Е.И., Гусев А.А., Левина В.И. и др. Мелкофокусные землетрясения п-ова Камчатка // Вулканоология и сейсмология. 2006. № 3. С. 28–38.
- Емельянова Т.А. Вулканизм Охотского моря. Владивосток: Дальнаука, 2004. 147 с.
- Емельянова Т.А., Деликов Е.П. Миоцен-плейстоценовый вулканизм глубоководных котловин Японского и Охотского морей // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29. № 2. С. 57–68.
- Йогансон Л.И. Присдвиговые осадочные бассейны (бассейны pull-apart) (обзор литературы) // Геотектоника. 2005. № 2. С. 66–80.
- Землетрясения в СССР в 1980–1991 гг. (ежегодник). М.: Наука, 1984–1997.
- Землетрясения Северной Евразии в 1992 году. М.: Геоинформмарк, 1997.
- Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. М.: Изд-во НИИ-Природа, 1999.
- Землетрясения Северной Евразии в 1994; 1995; 1996 г. М.: ОИФЗ РАН, 2000; 2001; 2002.
- Землетрясения Северной Евразии в 1997; 1998; 1999; 2000; 2001 г. Обнинск: ФОРС, 2003; 2004; 2005; 2006; 2007.
- Злобин Т.К. Охотская литосферная плита и модель эволюции системы «окраинное море – островная дуга – глубоководный желоб» // Вестник ДВО РАН. 2006. № 1. С. 26–32.
- Иващенко А.И., Ким Ч.У., Бондаренко Г.А. Сейсмичность поверхностных землетрясений Охотского моря // Сейсмическое районирование шельфа. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. С. 22–37.
- Кариг Д.Е. Происхождение и развитие окраинных бассейнов западной части Тихого океана // Новая глобальная тектоника. М.: Мир, 1974. С. 266–288.
- Каталог землетрясений Камчатского филиала ГС РАН, 2006–2010. Петропавловск-Камчатский, КФ ГС РАН. Режим доступа: <http://www.emsd.ru>
- Каталог землетрясений юга Сахалина за период с 2000 по 2010 г. (по данным автономных

- цифровых сейсмических станций) / Ч.У. Ким, Е.П. Семенова, О.А. Жердева и др. Владивосток: Дальнаука, 2011. 357 с.
- Ким А.Х. Строение и формирование кайнозойских отложений Ичинского прогиба (запад полуострова Камчатка) // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: Материалы IV Сах. мол. науч. школы. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2010. С. 152–160.
- Козьмин Б.М. Сейсмические пояса Якутии и механизмы очагов их землетрясений. М.: Наука, 1984. 127 с.
- Красный М.А., Неверов Ю.А., Корнев О.С. и др. Геологическое строение фундамента обрамления Охотоморской котловины по результатам 21 рейса НИС «Пегас» (препринт). Новоалександровск: СахКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1981. 20 с.
- Кропоткин П.Н. Сейсмичность, связанная с изломом погружающейся литосферной плиты // Геотектоника. 1978. № 5. С. 3–6.
- Кукал Зд. Скорость геологических процессов. М.: Мир, 1987. 246 с.
- Литвинова А.В., Ломтев В.А. К строению подводной окраины СВ Сахалина // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды, нефть и газ углеводороды и жизнь. Материалы Всерос. конф. М.: ГЕОС, 2010. С. 317–320.
- Ломтев В.А. Мезокайнозойский пенепплен в Северо-Западной Пацифике // Строение и перспективы нефтегазоносности в регионах северо-западной окраины Тихого океана. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2000. С. 38–53.
- Ломтев В.А. К диагностике пластовых срывов // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики: Материалы ХLI Тектонич. сов. М.: ГЕОС, 2008. Т. 1. С. 508–512.
- Ломтев В.А. К структурно-геоморфологической характеристике дна Охотского моря // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2009. № 1. С. 69–80.
- Ломтев В.А. Новые данные о строении юга охотской окраины Курильской дуги // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2010а. № 2. С. 74–83.
- Ломтев В.А. Деформации Невельского (02.08.2007 г.,  $M \sim 6.1$ ) шельфового землетрясения (ЮЗ Сахалин) // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2010б. № 2. С. 35–46.
- Ломтев В.А. Новое в строении котловины и трога Уллындо (Японское море) // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 1, вып. 19. С. 98–107.
- Ломтев В.А., Жигулев В.В., Патрикеев В.Н., Кочергин Е.В. Охотия // Строение, геодинамика и металлогения Охотского региона и прилегающих частей Северо-Западной Тихоокеанской плиты: Материалы Межд. науч. симп. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2002. Т. 1. С. 224–226.
- Ломтев В.А., Литвинова А.В. Новое в геологическом строении подводной окраины Северного Сахалина (по геофизическим данным) // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2012. № 1. С. 8–14.
- Ломтев В.А., Нагорных Т.В., Сафонов Д.А. О строении и сейсмоструктурной Курильской системы дуга–желоб // Вопросы инженерной сейсмологии. 2012. № 4. С. 19–38.
- Ломтев В.А., Никифоров С.П., Ким Ч.У. Тектонические аспекты коровой сейсмичности Сахалина // Вестн. ДВО РАН. 2007. № 4. С. 64–71.
- Ломтев В.А., Патрикеев В.Н. Структуры сжатия в Курильском и Японском желобах. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 141 с.
- Лопатнев Ю.В., Харахинов В.В., Кононов В.Э., Слуднев Ю.Г. Сейсмостратиграфическая модель Северо-Сахалинского осадочного бассейна // Геология дна Тихого океана и зоны перехода к Азиатскому континенту. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 111–116.
- Маргулис Л.С., Мудрецов В.Б., Сапожников Б.Г. и др. Геологическое строение северо-западной части Охотского моря // Сов. геология. 1979. № 7. С. 61–71.
- Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана / Г.Б. Удинцев (ред.) М.; СПб.: МОК (ЮНЕСКО), РАН, ФГУП ПКО «Картография», ГУНиО, 2003. 192 с.
- Мельников О.А. Структура и геодинамика Хоккайдо-Сахалинской складчатой области. М.: Наука, 1987. 94 с.
- Менард Г.У. Геология дна Тихого океана. М.: Мир, 1966. 273 с.
- Мушкетов И.В., Орлов А.П. Каталог землетрясений Российской империи. СПб., 1893. 582 с. (Зап. Рус. геогр. об-ва. Вып. 26).
- Нагорных Т.В., Поплавская Л.Н., Ким Чун Ун. Результаты переопределения координат гипоцентров сильных землетрясений Сахалина за 1924–1967 гг. // Проблемы сейсмичности Дальнего Востока и Восточной Сибири: Докл. Межд. симп. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2003. Т. 2. С. 131–155.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР (с древнейших времен до 1975 г.) / Отв. ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. М.: Наука, 1977. 535 с.
- Оперативный каталог землетрясений Сахалинского филиала ГС РАН. Южно-Сахалинск: СФ ГС РАН, 2005–2010.
- Основные черты геологического строения дна Японского моря. М.: Наука, 1978. 264 с.
- Пахомов А.Ю., Лямин С.М. Модель тектонических движений в Магаданской впадине //

- Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики.: Материалы Всерос. сов., посвященного 90-летию академика Н.А. Шило. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. Т. 1. С. 253–255.
- Пишон Ле К., Францито Ш., Боннин Ж.* Тектоника плит. М.: Мир, 1977. 288 с.
- Подводный вулканизм и зональность Курильской островной системы. М.: Наука, 1992. 528 с.
- Поплавская Л.Н., Иващенко А.И., Оскорбин Л.С. и др.* Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005 гг. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 2006. 103 с.
- Поплавская Л.Н., Оскорбин Л.С.* Сейсмическая активность земной коры шельфовых зон Охотского моря // Сейсмическое районирование Курильских островов, Приамурья и Приморья. Владивосток, 1977. С. 120–127.
- Поплавский А.А., Бобков А.О.* Статистическое исследование распределения землетрясений по глубине с учетом случайных ошибок ее оценок // Динамика очаговых зон и прогнозирование сильных землетрясений северо-запада Тихого океана. Южно-Сахалинск, 2001. Т. 1. С. 128–141.
- Прокудин В.Г., Медведев С.Н.* Новая скоростная модель земной коры Курильской котловины (Охотское море) // Физика геосфер: Материалы 7-го Всерос. симп. Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 368–374.
- Прытков А.С., Василенко Н.Ф.* Моделирование схождения литосферных плит в пределах основных систем разломов о. Сахалин // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: Материалы V Сахалин. молодеж. науч. школы. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2011. С. 90–99.
- Рогожин Е.А.* Строение очага землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. ( $M = 9.0$ ) в Японии, его макросейсмические, сейсмологические и геодинамические проявления // Вопросы инженерной сейсмологии. 2011. Т. 38, № 1. С. 5–20.
- Рогожин Е.А., Захарова А.И.* Палеоземлетрясения и сейсмический режим Северного Сахалина // Строение, геодинамика и металлогения Охотского региона и прилегающих частей Северо-Западной Тихоокеанской плиты: Материалы Межд. научн. симпозиума, г. Южно-Сахалинск, 24–28 сентября 2002 г. В 2 т. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2002. Т. 2. С. 227–228.
- Родников А.Г., Забаринская Л.П., Пийп Б.В. и др.* Геотраверс региона Охотского моря // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2005. № 5. С. 45–58.
- Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978 г. М.: Наука, 1980. 307 с.
- Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии / Ред. В.И. Уломов. М.: ОИФЗ РАН, 1993. Вып. 1. 303 с.
- Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии / Ред. В.И. Уломов. М.: ОИФЗ РАН, 1995. Вып. 2/3. 490 с.
- Сергеев К.Ф.* Тектоника Курильской островной системы. М.: Наука, 1976. 240 с.
- Смехов Е.М.* Геологическое строение острова Сахалин и его нефтегазоносность. М.: Гостоптехиздат, 1953. 321 с.
- Соловьев С.Л., Оскорбин Л.С., Ферчев М.Д.* Землетрясения на Сахалине. М.: Наука, 1967. 180 с.
- Соловьев С.Л., Поплавская Л.Н., Зарайский М.П.* Западно-Итурупское землетрясение 7–8 мая 1962 г. // Геология и геофизика. 1964. № 7. С. 55–62.
- Соловьев С.Л., Соловьева О.Н.* Соотношения между энергетическим классом и магнитудой // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1967. № 2. С. 3–23.
- Старшинова Е.А.* Неоднородность строения коры и мантии Охотского моря // Докл. АН СССР. 1980. Т. 25, № 6. С. 1339–1343.
- Строение земной коры и верхней мантии в зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану. Новосибирск: Наука, 1976. 367 с.
- Строение дна Охотского моря. М.: Наука, 1981. 176 с.
- Сурков В.С., Ларичев А.И., Старосельцев В.С. и др.* Предварительные геологические результаты по магаданскому участку опорного геофизического профиля 2–ДВ (п-ов Кони – о. Врангеля) // Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. Т. 1. С. 72–75.
- Тараканов Р.З.* Сейсмичность, глубинное строение и сейсмическая опасность Курило-Охотского региона: Дис. в виде науч. докл. ... д-ра физ.-мат. наук. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2006. 76 с.
- Тараканов Р.З., Ким Ч.У., Сухомлинова Р.И.* Закономерности пространственного распределения гипоцентров Курило-Камчатского и Японского регионов // Геофизические исследования зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану. М.: Наука, 1977. С. 67–77.
- Тектоника и углеводородный потенциал Охотского моря. Владивосток: ДВО РАН, 2004. 160 с.
- Тихонов И.Н., Ломтев В.Л.* Великое Японское землетрясение 11 марта 2011 г.: Тектонические и сейсмологические аспекты // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 2. С. 49–66.
- Тихонов И.Н., Ломтев В.Л.* Мелкофокусная сейсмичность в тылу Японо-Сахалинской дуги и ее вероятная тектоническая природа //

- Материалы II Школы-семинара «Гординские чтения». М.: ИФЗ РАН, 2012. С. 199–204.
- Трифонов В.Г., Кожурин А.И. Проблемы изучения активных разломов // Геотектоника. 2010. № 6. С. 79–98.
- Туезов И.К. Погребенные и подводные вулканы Курильской глубоководной котловины Охотского моря // Докл. АН СССР. 1977. Т. 232, № 1. С. 98–200.
- Унифицированный каталог землетрясений Северной Евразии с древнейших времен по 1990 год // Государственная научно-техническая программа Российской Федерации по проблеме «Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии» / Отв. ред. Н.В. Кондорская, В.И. Уломов. М.: ОИФЗ РАН, 1996.
- Уткин В.П. Сдвиговые дислокации и методика их изучения. М.: Наука, 1980. 144 с.
- Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 117 с.
- Харахинов В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Науч. мир, 2010. 275 с.
- Хасегава А., Умино Т., Такаги А. Двухслойная структура глубинной сейсмической зоны островной дуги Северо-Восточной Японии // Новые данные о строении коры и верхней мантии Курило-Камчатского и Японского регионов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. С. 68–75.
- Чуйко Л.С., Куделькин В.В., Карней Т.И. и др. Комплексные рекогносцировочные геофизические исследования в Охотском море (объект П/86). Южно-Сахалинск: Трест «Дальморнефтегеофизика», 1988. 284 с.
- Шикотанское землетрясение 4(5) октября 1994 г. // Информационно-аналитический бюллетень Федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Экстренный выпуск, ноябрь 1994. 80 с.
- Шикотанское землетрясение 1994 г.: Эпицентральные наблюдения и очаг землетрясения / П.А. Алексин, Ж.Я. Аптекман, С.С. Арефьев, А.О. Бобков, Б.А. Борисов, В.В. Быкова, Н.Ф. Василенко, О.Н. Галаганов, Т.В. Гусева, Л. Дорбат, А.И. Захарова, А.И. Иващенко, М. Касахара, Ч.У. Ким, А.И. Кожурин, С.Н. Лукьяненко, И.В. Матвеев, А.В. Мишин, С.Г. Молотков, В.А. Моргунов, Ю.В. Нечев, Л.С. Оскорбин, Б.В. Ошер, А.Э. Петросян, К.Г. Плетнев, О.В. Потапова, Е.А. Рогожин, М.И. Стрельцов, Р.З. Тараканов, Р.Э. Татевосян, Л.С. Чепкунас, Г.В. Чернышева, Л.С. Шумилина, О.О. Эртелева, А. Эслер, Ф.Л. Яковлев; под ред. С.С. Арефьева и Н.В. Шебакина. М.: ОИФЗ РАН, 1995. 136 с. (Информационно-аналитический бюллетень Федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Специальный выпуск, декабрь 1995 г.).
- Bulletin of the International Seismological Center. Edinburg (UK), 1964–1973.
- Bulletin of the International Seismological Center. Berkshire (UK), 1974–2005.
- Geological investigations of the Okhotsk and Japan seas off Hokkaido. June–July 1977 (GH77-3) / Ed. E. Honza. Tokyo: Geol. Survey of Japan, 1978. 72 p. (Cruise Rep. № 11).
- Global Hypocenter Data Base. Denver: NEIC/USGS, 1989. CD-ROM.
- Japan University Network Earthquake Catalog (JUNEC). Bunkyo; Tokyo: Earthquake Prediction Data Center; Earthquake Research Institute University of Tokyo, 1985–1990.
- JMA Earthquake Catalog. Tokyo: Japan Meteorological Agency, 1926–2000.
- MacInnes B.T., Weiss R., Bourgeois J., Pinegina T.K. Slip distribution of the 1952 Kamchatka great earthquake based on near-field tsunami deposits and historical records // Bull. Seismol. Soc. America. 2010. V. 100, No. 4, P. 1695–1709.
- Wei D., Seno T. Determination of the Amurian Plate Motion, in Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia // Geodyn. Ser. 1998. V. 27. 419 p.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**ТИХОНОВ Иван Николаевич** — доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией сейсмологии ИМГиГ ДВО РАН. 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1Б.  
Тел.: (4242) 791-692. E-mail: tikhonov@imgg.ru

**ЛОМТЕВ Владимир Леонидович** — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории морской геологии и сейсмоакустики ИМГиГ ДВО РАН. 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1Б.  
Тел.: (4242) 791-691, доб. 323. E-mail: lomtev@imgg.ru

## SHALLOW SEISMICITY OF OKHOTSK SEA AND ITS PROBABLE TECTONIC NATURE

I.N. TIKHONOV, V.L. LOMTEV

Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch of Russian Academy of Sciences,  
Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

**Abstract.** Analysis of data from different seismic bulletins contained information about seismicity of the Okhotsk Sea for the first time produced two of the most complete catalog of shallow earthquakes in the historical period 1735–2010 ( $M \geq 5.0$ ) and the instrumental period 1962–2010 ( $M \geq 4.0$ ). The features of the distribution of seismicity in the plan, and depth are considered. Estimates of earthquake recurrence at three different shelf of the Okhotsk Sea are performed. A comparison of the seismic map and the depth scheme of the Mohorovičić discontinuity are made. Take into account the SCP (seismic continuous profiling) and CDP (common depth point) materials the possible tectonic nature of seismicity within the Okhotsk Sea was assumed. This nature is related to mobility and allochthonous occurrence crust (divergent glide on the Okhotsk swell, regional thrusts along island margins, subsidence of Kuril Basin floor).

**Keywords:** Okhotsk Sea, catalog of earthquakes, shallow seismicity, earth crust, basement, cover, swell, basin, shelf, active fault.