

УДК 550.834:550.348(265.5)

К ВОПРОСУ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ И СЕЙСМОТЕКТОНИКЕ ТИХООКЕАНСКОГО СКЛОНА ДУГИ ХОНСЮ (В СВЯЗИ С ЯПОНСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ И ЦУНАМИ 11.03.2011 г.)

В. Л. Ломтев

*Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН,
г. Южно-Сахалинск
E-mail: lomtev@imgg.ru*

По данным сейсморазведки МОГТ, бурения и сейсмологии, рассмотрены особенности строения и сейсмотектоники тихоокеанского склона островной дуги Хонсю (Северо-Восточная Япония) в связи с катастрофическим японским ($M = 9,0$) цунамигенным землетрясением 11.03.2011 г. Показано, что данное событие связано с глубинным надвигом по фокальной зоне Беньофа и его структурным козырьком – шарьяжем акустического фундамента Ойасио в средней части тихоокеанского склона. Серия последовавших тектонических (поршневых) цунами возникла в районе широкой верхней глубоководной террасы над фокальным ромбом (место пересечения верхних плоскостей встречных зон Беньофа и Тараканова). Это сильное землетрясение активизировало разломы островной дуги, подвижного автохтона в Японском желобе и на краевом валу. Движение шарьяжа Ойасио и дуги Хонсю к востоку в последние примерно 0,5–1,0 млн лет сопровождалось тектоническим срезом и аккрецией кайнозойского чехла с образованием аккреционной призмы, средней и нижней частей тихоокеанского склона, асимметричного рампового желоба (полуграбен).

Ключевые слова: островная дуга Хонсю, Японский желоб, встречные фокальные зоны и ромб, шарьяж Ойасио, акустический фундамент, аккреционная призма, кайнозойский чехол.

Великое Японское, или Тохоку, цунамигенное землетрясение 11 марта 2011 г. произошло на глубине 32 км под тихоокеанским склоном островной дуги Хонсю (Тохоку) и имело магнитуду ($M = 9,0$) (Tikhonov, Lomtev, 2011). Оно привело к многочисленным жертвам и разрушениям на тихоокеанском побережье Северо-Восточной Японии, особенно после волн цунами высотой 10–20, местами до 37,5 м (по сообщению проф. МГУ М. А. Носова, июнь 2011 г.). Затронули они, хотя и незначительно (по касательной), и тихоокеанское побережье России, особенно Курильские острова (В. М. Кайстренко, личное сообщение, 2011 г.).

Землетрясение представляло собой взброс островного крыла, который, благодаря масштабам смещения, активизировал разломы на о. Хонсю, сместившемся к востоку до 4–4,5 м его тихоокеанском побережье и окраине, Японском желобе и краевом валу (рис. 1, 2). В связи с этим интересно рассмотреть особенности строения и сейсмотектоники этого региона на примере его лучше изученной северной части. В частности, здесь

отработаны буровой геотраверз «Гл. Челленджера», профили МОГТ (рис. 3–5) (Initial..., 1980; Тектоника..., 1980; Ломтев, Патрикеев, 1985), обнаружена тонкая (микроземлетрясения) геометрия встречных фокальных зон Беньофа и Тараканова (рис. 6) (Тараканов и др., 1977; Хамада, 1977; Хасагава и др., 1978), получены новые данные по строению и палеогеографии осадочно-траппового мезокайнозоя на прилегающем ложе Северо-Западной Пацифики (Ломтев, 2010; Ломтев и др., 2004).

В основу статьи положены результаты геологической интерпретации данных бурения (см. рис. 4), глубинных разрезов МОГТ, построенных способом аппланатных поверхностей в масштабе 1:1 (см. рис. 5), и сейсмологии, включая совмещенный профиль (см. рис. 6) и разработку комбинированной модели очага землетрясения фокального ромба (врезка к рис. 6), которая проведена нами с единых методических позиций (Ломтев, Патрикеев, 1985).

Строение тихоокеанского склона. Батиметрия и строение тихоокеанского склона дуги Хонсю и Японского желоба изучаются более 100 лет (Уэда, 1978). Современные взгляды на их

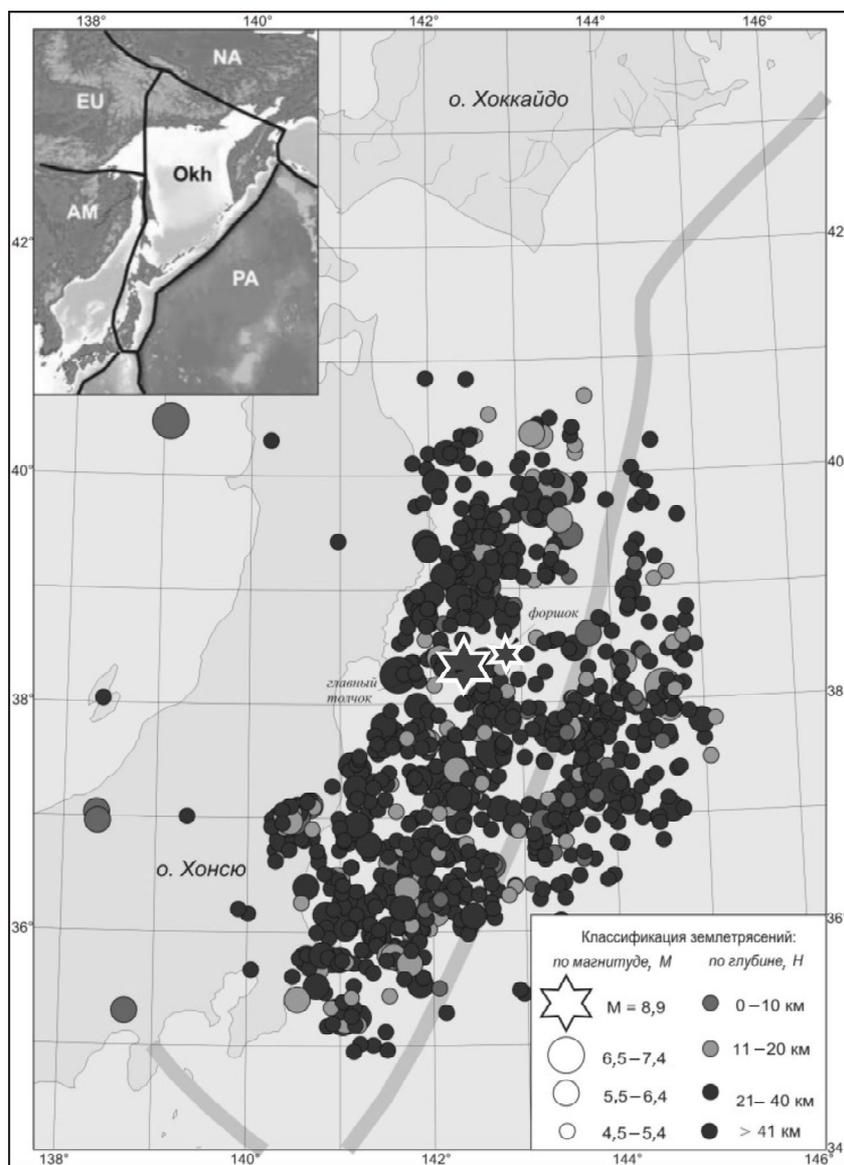


Рис. 1. Положение эпицентра главного толчка Великого Японского землетрясения 11.03.2011 г. (большая звездочка), его форшока (маленькая звездочка) и афтершоков (кружки), зарегистрированных в течение 32 сут, по данным оперативного каталога NEIC/USGS (<http://earthquake.usgs.gov/regional/ncic>). Полосой выделены ось Японского и юг Курильского желобов, а также трога Сагами (слева внизу). На врезке региональная схема границ плит (Wei, Seno, 1998): NA – Северо-Американская, EU – Евразийская, AM – Амурская, PA – Тихоокеанская, Okh – Охотская

Fig. 1. Locations of the 11.03.2011 Great Japanese Earthquake main shock (large star), its foreshock (small star) and aftershocks (circles), registered within 32 days, according to the NEIC/USGS Catalog. The band shows the axis of the Japanese trench and the south of the Kuril trench, as well as the Sagami trough (down left). The inset presents the regional scheme of plate tectonic boundaries (Wei, Seno, 1998). NA – North American, EU – Eurasian, AM – Amurian, PA – Pacific, Okh – Okhotsk plates

строение и историю начали складываться в 70–80-е гг. XX в. после отработки бурового геотраверза и съемки МОГТ. Важным подспорьем стала и геолого-геофизическая съемка окраин Японского архипелага, проведенная Геологической службой Японии под руководством проф. Е. Хонза (Initial..., 1980).

В рельефе тихоокеанской окраины дуги Хонсю выделяют узкий шельф и широкий континентальный склон (см. рис. 3), включающий в себя пологий верхний уступ, ступенчатую среднюю часть с широкой верхней и узкой нижней глубоководными террасами на глубинах соответственно 1–2 и 5 км и нижний уступ. Последний одновременно является внутренним склоном Японского желоба с дном на глубине 7–7,5 км. Оно сложено молодыми турбидитами Сангарского каньона и на профилях МОГТ, построенными в масштабе 1:1, представляет собой долину глубиной 500 м с террасированными бортами (см. рис. 4).

В строении тихоокеанского склона дуги Хонсю ключевое значение имеет клиновидный выступ акустического фундамента посреди склона (по Д. Е. Каригу). Профили JNOC 1, 2 освещают строение его внешней части на расстоянии 30–40 км между верхней и нижней террасами, а профили ORI-78-3,4 – его фронт (см. рис. 3, 4). Выступ драпирован кайнозойским чехлом максимальной мощностью до 1–2,5 км на склоне и 3,5–4 км – под верхней террасой (палеожелоб?). Скважина 439 в своде выступа вскрыла в кровле фундамента конгломераты и брекчию кислых и средних эффузивов (андезиты, дациты и др.) позднего олигоцена с включением обломков кремнистых сланцев позднего мела (интервал глубин 1100–1145 м; см. рис. 5). Ниже залегают темносерые кремнистые сланцы позднего мела (интервал 1145–1157,5 м). Таким образом, кровля фундамента здесь является поверхностью размыва и поздний мел – раннекайнозойского

перерыва в морском (палеосуша Ойасио) осадконакоплении (Initial..., 1980). Скорость распространения продольных волн в конглобрекциях и кремнистых сланцах достигает 4,5–5 км/с.

На краевом вале кровля фундамента Северо-Западной плиты вскрыта скв. 436 в интервале глубин 379–397,5 м. Ее слагают красновато-корич-

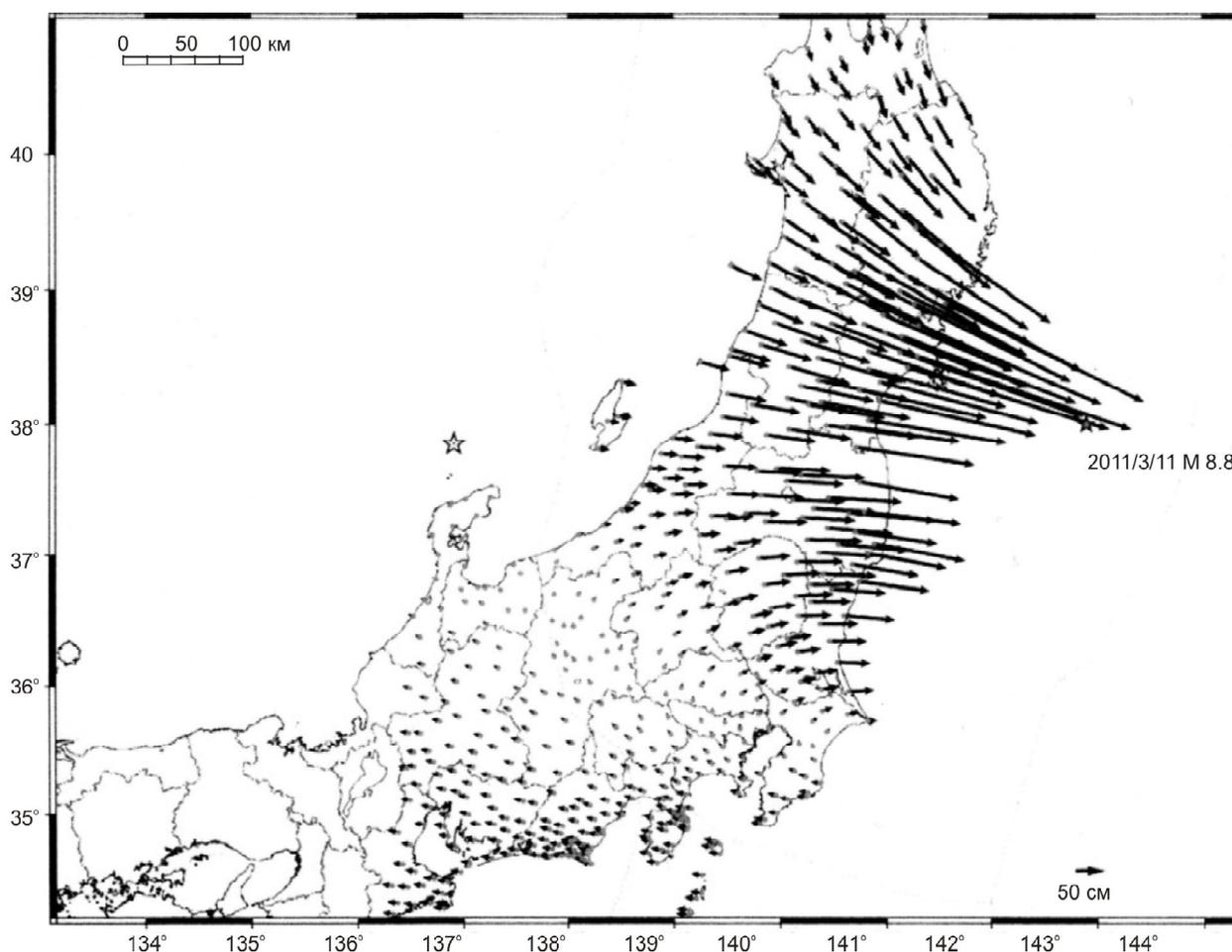


Рис. 2. Карта-схема косейсмических смещений пунктов JPS-наблюдений на о. Хонсю в результате японского землетрясения 11.03.2011 г. Любезно предоставлена Х. Такахаша, сотрудник Института сейсмологии и вулканологии Хоккайдского университета (Саппоро, Япония). Звездочка – положение эпицентра японского землетрясения, стрелки – смещения пунктов JPS: длине стрелок в 1 см соответствует смещение пунктов на 1 м

Fig. 2. The schematic map of coseismic displacements of GPS observation points on the Honshu Island resulted from the Great Japanese earthquake of March 11, 2011. Courtesy of Hiroaki Takahashi, Researcher, Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, Sapporo, Japan. The star shows the Great Japanese earthquake epicenter location; arrows, displacements of GPS observation points: 1 cm of an arrow corresponds 1 m displacement of a GPS observation point

новые кремни и порцелланиты опакowego слоя позднемелового возраста (альб или сеноман) со скоростью распространения продольных волн 4,5–5,0 км/с. Мезозойские финальные траппы в низах слоя 2 залегают глубже. Таким образом, на расстоянии 30–40 км между верхней и нижней террасами тихоокеанского склона опорные отражающие границы, фиксирующие кровлю выступа фундамента и Северо-Западной плиты, являются изохронными. Это означает, что здесь сведен разрез позднемеловых и более древних (до позднего докембрия, по данным Д. Р. Чоя; Ломтев, 2010) пород видимой мощностью до 8 км. Поскольку наклон этих границ к дуге Хонсю составляет примерно 11,5 и 2–5° соответственно, то данный выступ можно считать шарьяжем (Ойасио), а залегающую под ним краевую часть Северо-Западной плиты – его автохтоном. По данным МПВ

(Initial..., 1980), прослеживание и идентификация упомянутых опорных границ на временных разрезах МОГТ обусловлены резким скачком скорости распространения продольных волн в кровле акустического фундамента (и, следовательно, акустической жесткости) от 4,5–5,5 до 2–3 км/с в кайнозойском чехле и аккреционной призме. Поэтому утонение и выклинивание низкоскоростных пород призмы под шарьяжем к западу до 50–100 м и менее приводит к совмещению пород акустического фундамента и прекращению прослеживания отражений от подошвы шарьяжа и кровли автохтона. Непротяженные и наклонные к дуге отражающие площадки в шарьяже построены по вершинам дифрагированных волн и трассируют чешуйчатые надвиги, вероятно, связанные с трением в подошве при его движении к востоку по восстанию кровли автохтона.

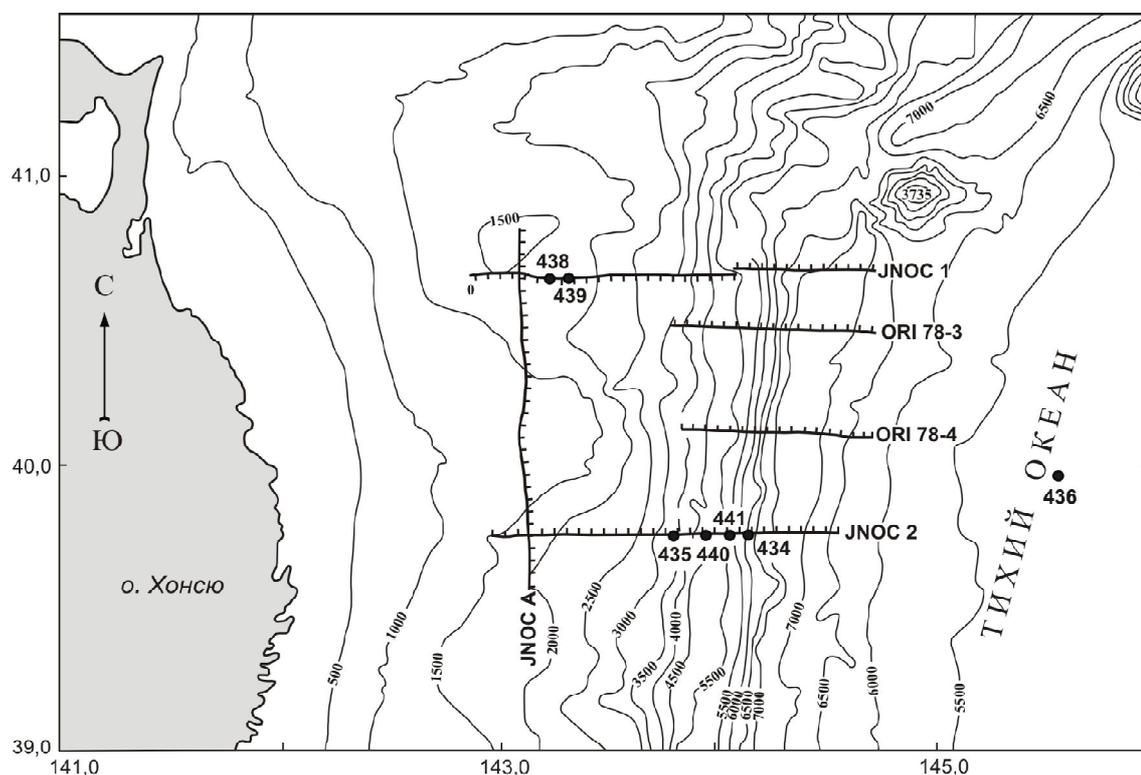


Рис. 3. Батикарта исследуемого региона с положением профилей МОГТ Японской национальной нефтяной компании и скважин 56 рейса «Гл. Челленджера» (Initial..., 1980)

Fig. 3. The bathymetric map of the area researched, showing positions of CDP profiles published by the Japan National Oil Company (JNOC) and «Gl. Challenger» Leg 56 wells (Initial..., 1980)

Внутренний склон Японского желоба шириной 25 км, по данным бурения и МОГТ, сложен дислоцированными кайнозойскими породами аккреционной призмы мощностью до 4 км близ нижней террасы и фронта шарьяжа (см. рис. 3–5). К фронту аккреции в основании внутреннего склона и к западу под шарьяжем Ойасио призма выклинивается. В ее основании залегает позднемеловой опактовый горизонт, венчающий слой 2 Северо-Западной плиты, а на расстоянии 4–6 км от фронта аккреции – и кайнозойские осадки слоя 1 мощностью 300–500 м. Далее к западу они не прослежены из-за тектонического среза и аккреции. Короткие отражающие площадки под внутренним бортом трассируют пологие надвиги западного падения протяженностью 4–7 км, тогда как под шарьяжем они не выделяются из-за экранирующего влияния его среднескоростных пород. По надвигам многократно совмещены, уплотнены и дислоцированы (складки, разломы, трещины) кайнозойские, в основном, неоген-раннечетвертичные терригенные отложения (туффито-кремнисто-глинистая толща; см. рис. 5). Надежные примеры такого совмещения дают скв. 441 и 434, пробуренные на глубину 687 и 301 м соответственно. Таким образом, формирование аккреционной призмы вызвано не оползнями (Тектоника..., 1980), а тектоническим срезом и аккрецией чешуй кайнозойского чехла перед фронтом движущегося к востоку

шарьяжа Ойасио в среднем плейстоцене – голоцене. Следовательно, их можно объединить в покровную тектонопару «шарьяж – призма» (аллохтон), с которой связано асимметричное погружение автохтона (растущая литостатическая нагрузка), включая и внешний борт желоба, а также образование средней и нижней частей склона. Для проверки были выполнены расчеты субдукционного и покровного балансов осадков кайнозойского чехла и аккреционной призмы (Ломтев, Патрикеев, 1985). Согласно первому, весь тихоокеанский склон дуги Хонсю должен представлять собой мезокайнозойскую аккреционную призму, что не подтверждают данные бурения и МОГТ (см. рис. 4, 5). Если Японский желоб существует с мела, то он бы блокировал проградацию неоген-раннечетвертичного Сангарского фана с каналом Накве (Nakwe), открытым Дж. Мэммерикс, на смежное ложе, где он и другие фаны картированы по данным промера и НСП (Ломтев и др., 2004).

Расчет покровного баланса показал, что видимого (30–40 км) смещения шарьяжа Ойасио к востоку недостаточно для формирования аккреционной призмы. Более вероятно, что его корень находится на расстоянии около 90 км к западу от фронта аккреции под верхней террасой на глубине примерно 10–20 км. Независимо корень шарьяжа маркируют гравитационный минимум в редукции Буге, минимум теплопотока (Уэда, 1978),

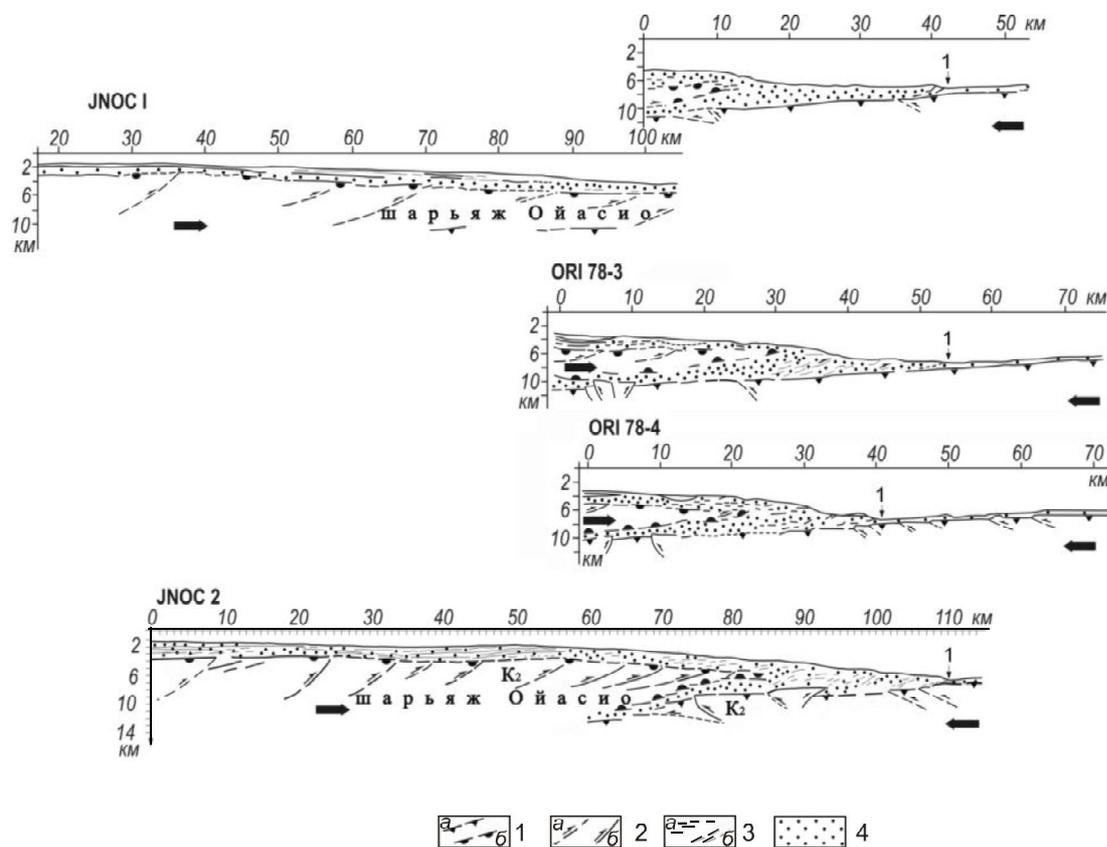


Рис. 4. Интерпретированные глубинные разрезы МОГТ в масштабе 1:1 (их положение см. рис. 3): 1 – кровля акустического фундамента внешнего борта желоба (*a*) и тихоокеанского склона дуги Хонсю (*б*); 2 – разломы сжатия: предполагаемые (*a*) и установленные (*б*); 3 – отражающие площадки, связанные с линзами турбидитов в кайнозойском чехле тихоокеанского склона (*a*) или со сместителями надвигов в аккреционной призме (*б*); 4 – кайнозойские отложения чехла тихоокеанского склона, аккреционной призмы (сгущение точек) и океанического чехла (разрежение точек). Цифрой 1 на разрезах показан фронт аккреции, K_2 – осадочные породы поздне мелового возраста в кровле акустического фундамента тихоокеанского склона и внешнего борта Японского желоба

Fig. 4. Interpreted depth CDP profiles scaled 1:1 (positions shown on Fig. 3): 1 – the acoustic basement top of the outer trench slope (*a*) and the Pacific slope of the Honshu Arc (*б*), compression fault breaks (dotted lines with arrows on sections); 2 – compression faults, supposed (*a*) and fixed (*б*); 3 – reflectors, connected with turbidity lenses in the Cenozoic slope cover of the Pacific slope (*a*) or thrust planes in the accretionary prism (*б*); 4 – Cenozoic deposits of the Pacific slope cover, accretionary prism (thickening of points), and oceanic cover (rarity of points). On depth sections, 1 shows the accretion front; K_2 designates sedimentary Late Cretaceous rocks of the acoustic basement top of the Pacific slope and of the Japanese trench outer slope

пересечение верхних плоскостей зон Беньофа и Тараканова и область генерации крупных цунами, включая 11.03.2011 г. (Карта..., 1977; Tikhonov, Lomtev, 2011). Отсутствие молодого рифта или раздвига шириной около 90 км в структуре дуги Хонсю и впадине Японского моря (Основные..., 1978), компенсирующего сдвигание коры по шарьяжу Ойасио, указывает на ее аллохтонное залегание и мобильность. Последняя, вероятно, обусловлена срывом коры к востоку с зоной обратного сползания на япономорской окраине о. Хонсю аналогично Сахалину (Ломтев и др., 2007). Срыв сопровождается мелкофокусной (коровой) сейсмичностью (см. рис. 6).

В строении автохтона и внешнего борта Японского желоба выделим молодые надвиги и взбросы восточного падения. Согласно (Ломтев, 2010) их можно рассматривать как мегадуплекс в за-

падной части Северо-Западной плиты, связанный со сползанием слоев 1–4 с краевого вала (см. рис. 4). Разломы формируют ступенчатый профиль внешнего склона желоба и кровли автохтона, так как смещения по ним достигают 0,5–1 км, и сейсмоактивны (см. рис. 6) (Тектоника..., 1980). С учетом встречного падения разломов сжатия на бортах и асимметрии в поперечном сечении Японский желоб можно считать рамповым полуграбеном.

Сеймотектоника. Тихоокеанская окраина дуги Хонсю (Северо-Восточная Япония) относится к активным или окраинам тихоокеанского типа, известных своей сейсмичностью. Повышение точности (до 1–2 км) определения местоположения гипоцентров микроземлетрясений в 70-е гг. XX в. позволило А. Хасагава с коллегами (1978) выявить на севере этой окраины двухслойную струк-

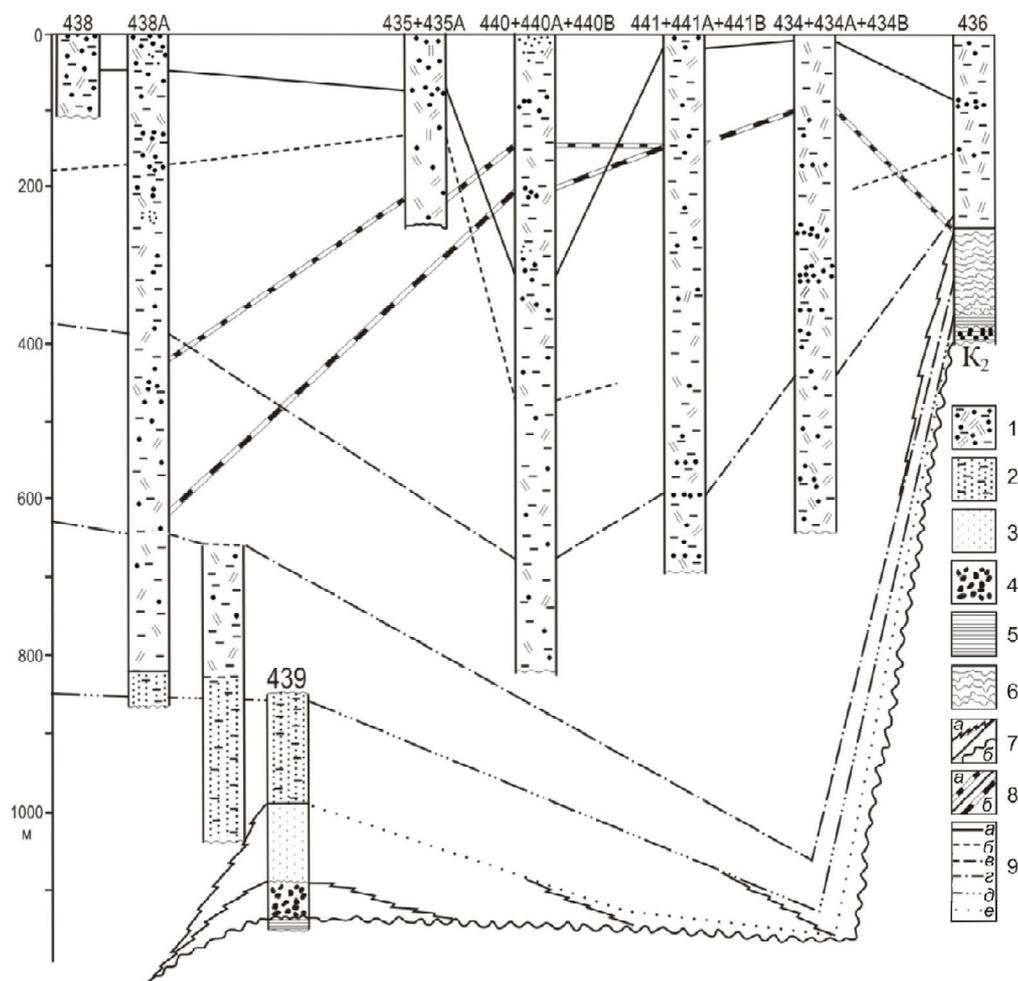


Рис. 5. Буровой разрез: 1 – гемитерригенная, туффито-кремнисто-глинистая толща; 2 – турбидитовый комплекс; 3 – массивные граувакковые песчаники; 4 – конглобрекчия кислых и средних эффузивов; 5 – кремнистые породы; 6 – биогенные отложения (диатомиты и радиоляриты); 7 – фациальное замещение (а) и перерывы в седиментации (б); 8 – фронт литификации (а) и фронт деформации (б), совмещенные между скв. 434 и 436; 9 – возрастные границы: а – нижний плейстоцен – верхний плиоцен, б – верхний-нижний плиоцен, в – нижний плиоцен – верхний миоцен, г – верхний-средний миоцен, д – средний-нижний миоцен, е – нижний миоцен – олигоцен; К₂ – поздний мел

Fig. 5. Schematic well section: 1 – hemiterrigenous, tuffite-cherty-clay strata; 2 – turbidity complex; 3 – massive greywacke sandstones; 4 – conglobreccia of acidic and intermediate effusive; 5 – cherty rocks; 6 – biogenic deposits (diatomites and radiolarites); 7 – facies change (a) and hiatuses (b); 8 – lithification (a) and deformation (b) fronts, combined between wells 434 and 436; 9 – age boundaries: a – Low Quaternary to Upper Pliocene, б – Upper to Low Pliocene, в – Low Pliocene to Upper Miocene, г – Upper to Middle Miocene, д – Middle to Low Miocene, е – Low Miocene to Oligocene; К₂ – Upper Cretaceous

туру зоны Беньофа, падающей к западу до глубин ~ 200 км под углом ~ 30°, противоположные типы сейсмодислокаций в ее верхней (надвиги) и нижней (сбросы) плоскостях (точнее фокальных клиньях; см. рис. 6), ориентированные вдоль их падения. Кроме того, была подтверждена встречная фокальная зона Тараканова, падающая к востоку до глубины ~ 100 км (Тараканов и др., 1977). Название ее предложено П. Н. Кропоткиным в 1978 г. в честь одного из первооткрывателей, известного сахалинского сейсмолога, д. ф.-м. н. Р. З. Тараканова (Tikhonov, Lomtev, 2011). Выход подошвы этой фокальной зоны на тихоокеанском побережье о. Хонсю называют асейсмичным фронтом (по Т. Йосии). В очагах землетрясений на ее выходе

также доминируют надвиги, ориентированные по ее падению.

В. Л. Ломтев, В. Н. Патрикеев (1985) двухслойную структуру японской и, вероятно, курильской секций зоны Беньофа связывают с их изгибом в сторону Тихого океана параллельно сопряженным с ними системам дуга – желоб, что установлено по конфигурации их сейсмоизобат в плане (Тараканов и др., 1977; Хамада, 1977). В результате в подошве этой зоны возникает относительное продольное растяжение (нижняя фокальная плоскость) и сжатие в кровле (верхняя плоскость). Между ними располагается асейсмичный слой мощностью до 30 км, в котором эти деформации компенсируются (нейтральная плоскость в моде-

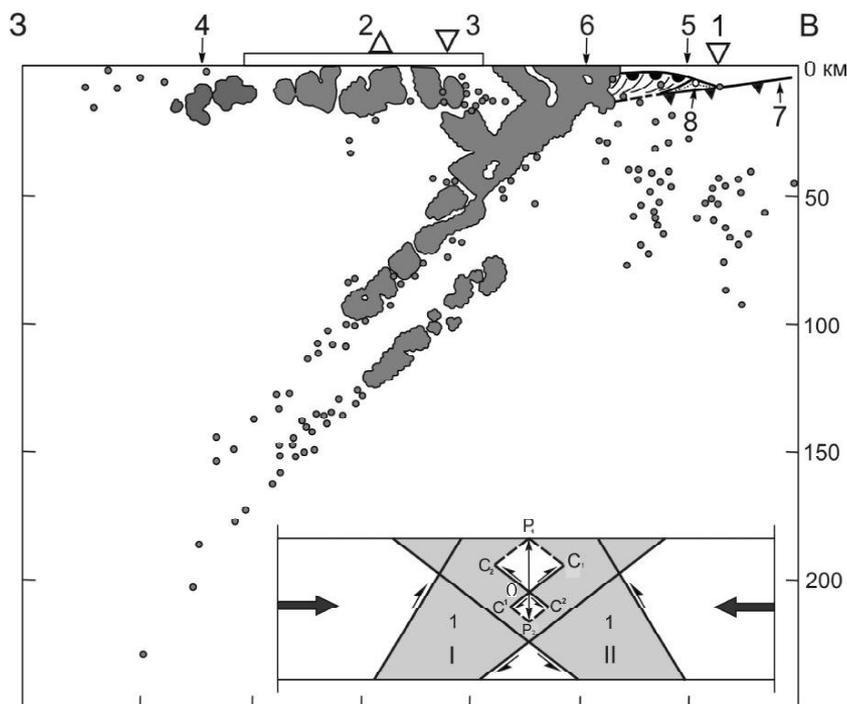


Рис. 6. Совмещенный широтный разрез встречных сейсмофокальных зон и профиля МОГТ JNOC2: 1 – фронт аккреции в основании тихоокеанского склона дуги Хонсю; 2 – вулканический фронт; 3 – асейсмичный фронт; 4 – основание япономорского склона дуги Хонсю; 5 – фронт регионального шарьяжа Ойасию с чешуйчатыми надвигами западного падения (изогнутые линии) и черными полукружками в кровле акустического фундамента склона; 6 – предполагаемое положение корня шарьяжа и минимум кондуктивного теплопотока через дно по С. Уэда (1978); 7 – подвижный автохтон (Северо-Западная плита), кровля акустического фундамента (черные зубчики) которого совмещена с дном на внешнем склоне желоба по условиям масштаба разреза; 8 – аккреционная призма перед и под фронтом шарьяжа. Черные точки и их рои: землетрясения в зонах Беньофа и Тараканова, а также в аллохтонной коре. На врезке: комбинированная надвиговая модель очага землетрясения фокального ромба под верхней глубоководной террасой: О – очаг, C_1C_1 , C_2C_2 – надвиговые составляющие, ориентированные вдоль зон Беньофа (I) и Тараканова (II) соответственно, 1 – их верхние фокальные плоскости (клинья); OP_1 , OP_2 – вертикальные результирующие комбинированной подвижки (Ломтев, Патрикеев, 1985). Тонкими стрелками показаны смещения в очагах землетрясений верхних плоскостей зон Беньофа и Тараканова (Хасегава и др., 1978), жирными – региональное боковое сжатие в коре и подстилающей мантии

Fig. 6. The combined latitudinal profile of the opposing seismofocal zones and the CDP profile JNOC2: 1 – accretion front at the Pacific slope base of the Honshu Arc; 2 – volcanic front; 3 – aseismic front; 4 – base of Japanese Sea slope of the Honshu Arc; 5 – front of the regional Oyashio nappe with slice thrusts of the western dip (curved lines) and black semicircles in the slope's acoustic basement top; 6 – possible position of the nappe root and the heat minimum of the conductive heat flow through the bottom (Уэда, 1978); 7 – mobile autochthon (NW plate), with the acoustic basement top (black cogs) juxtaposed to the bottom on the outer trench slope by the section scale conditions; 8 – accretionary prism in front of and under the nappe. Black dots and their clusters show earthquakes in the Benioff and Tarakanov zones and in the allochthon crust. The inset shows the combined thrust model of the earthquake focus of the focal rhombus: O – earthquake focus, C_1C_1 , C_2C_2 – thrust components, oriented along the Benioff (I) and Tarakanov (II) zones, 1 – their upper focal planes (wedges); OP_1 , OP_2 – combine displacement vertical resultants (Ломтев, Патрикеев, 1985). Thin arrows show displacement in earthquake foci along the upper planes of the Benioff and Tarakanov zones (Хасегава и др., 1978). Thick arrows show the regional side compression of the crust and the underlying mantle

лях изгиба). Подобная трактовка находит подтверждение в дуплете сильных Симуширских цунамигенных землетрясений в 2006 и 2007 г., связывая первое с верхней фокальной плоскостью зоны Беньофа (пологий надвиг к востоку), а второе – со сбросом в ее нижней плоскости под Курильским желобом, а также в эпицентрии двух полей афтершоков Великого Японского землетрясения, тяготеющих к выходу плоскостей зоны Беньофа (см. рис. 1) (Тихонов и др., 2008; Tikhonov, Lomtev, 2011).

Итак, на рис. 6 показана фиксация пересечения встречных фокальных зон Беньофа и Тараканова под тихоокеанским склоном дуги Хонсю (фокальный ромб). С последним связаны клиновидные взбросы в очагах сильных землетрясений под широкой верхней террасой (зона пересечения верхних плоскостей этих зон) – область генерации крупных тектонических (поршневого) цунами, включая и Великое Японское цунамигенное землетрясение 11.03.2011 г. (см. врезку к рис. 6; Карта..., 1977; Tikhonov, Lomtev, 2011). Кроме того, данные материалы сейсмологии позволяют уточнить классическую трактовку зоны Беньофа как глубинного надвига. Так, если его сместитель определить в подошве верхней фокальной плоскости, то шарьяж Ойасию можно считать структурным козырьком глубинного надвига. Заметим, что при Великом землетрясении смещение к востоку испытал не только шарьяж Ойасию, но и вся дуга Хонсю (до ~ 4–4,5 м), тектоническим фронтом которой он является (см. рис. 2, 4).

Учитывая малые (~ 200 км) глубины и протяженность японской секции зоны Беньофа и сопряженной с ней системы дуги Хонсю – Японский желоб во входящем структурном угле, образованном Идзу-Марианским и Курило-Камчатским глубинными надвигами (см. карты сейсмоизобат в работах Р. З. Тара-

канова и др., 1977 и К. Хамады, 1977), приходим к выводу, что в сейсмоструктурной тектонике дуги Хонсю заметную роль должны играть компоненты продольного бокового сжатия с юга и особенно с севера, где тыловая Хоккайдо-Сахалинская дуга явно дискордантна курильской секции зоны Беньофа.

Одной из традиционно сложных проблем в геологии тихоокеанской окраины дуги Хонсю, Японского желоба и встречных фокальных зон Беньофа и Тараканова является их датирование. Так, возраст островной дуги относят к раннему миоцену–палеозою (по данным А. А. Гаврилова), тогда как возраст или время заложения смежного желоба определяют от мела-юры до голоцена (см. обзор В. Л. Ломтева, 1989). Вместе с тем открытие реликтовых, неоген-раннечетвертичных фанов (конусы выноса) подводных каньонов на краевом вале Хоккайдо (Зенкевича) и поднятии Обручева, а Камчатского контурного мегафана – в котловинах Тускарора, Картографов и севере поднятия Шатского (Ломтев и др., 2004), надежно фиксирует среднечетвертичное (~ 0,5–1,0 млн лет) время заложения Японского и Курило-Камчатского глубоководных желобов. Последнее совпадает с пасаденской глобальной фазой складчатости и орогенеза, выделенной Г. Штилле в 1936 г. (Ломтев, 1989). Снос терригенных осадков с дуги Хонсю и прилегающих регионов восточной окраины Евразии по данным глубоководного бурения на ложе Северо-Западной Пацифики датируют средним миоценом, а в грабенах – возможно, и ранним миоценом (Ломтев и др., 2004). Таким образом, геологическая история островной дуги Хонсю и, вероятно, встречных фокальных зон восходит к началу миоцена. Примерно в это же время водами молодой Пацифики были затоплены обширная материковая палеосуша Пацифиды, смежные мелководные бассейны позднего эпиконтинентального Тетиса и частью субэаральные (Охотия и др.) впадины дальневосточных морей (Ломтев и др., 2004), что указывает на взаимосвязь позднекайнозойской истории формирования тектонической впадины Пацифики и фокальных зон (глубинные надвиги) в ее островодужном и континентальном обрамлении.

В заключение, особо отмечу сообщение проф. В. И. Короченцева с коллегами (2011) на седьмом Всероссийском симпозиуме по физике геосфер в ТОИ ДВО РАН, связанное с Великим Японским землетрясением и цунами 11.03.2011 г. Суть его в том, что в обсерватории ДВФУ (Владивосток) был инструментально зарегистрирован более ранний (первые минуты) приход на прецизионный гравиметр «гравитационных» волн этого землетрясения в сравнении с обычными сейсмическими волнами на установленный там же сейсмограф. Этот факт, несомненно, будет способствовать разработке новых подходов к прогнозу землетрясений и цунами. При обсуждении упомянутого

доклада мною было высказано предположение, что главный сейсморазрыв в очаге Великого Японского землетрясения сначала развивался в режиме асейсмичного крипа и на большей, чем определено выше, глубине. С переходом его по востанию фокальной зоны Беньофа в более жесткие породы низов коры он трансформировался в обычный сейсморазрыв. Одно из возможных подтверждений подобного сценария развития сейсморазрыва дает верхнекоровая сейсмичность, доминирующая над средне- и нижнекоровой на Сахалине и в ряде смежных регионов востока и северо-востока Евразии (Ломтев и др., 2007; и др.).

ВЫВОДЫ

По результатам совместной интерпретации материалов МОГТ, бурения и сейсмологии рассмотрены особенности строения и сейсмоструктурной тектоники тихоокеанского склона островной дуги Хонсю и севера Японского желоба. Его основными структурными элементами являются выступ акустического фундамента в средней части склона и аккреционная призма кайнозойских пород – в нижней (внутренний борт желоба). Выступ является крупным шарьяжем во фронте дуги Хонсю на выходе верхней плоскости и глубинного надвига зоны Беньофа (структурный козырек, с которым связаны японское землетрясение и цунами 11.03.2011 г.). Шарьирование дуги Хонсю сопровождалось тектоническим срезом и аккрецией чешуй кайнозойского чехла перед фронтом шарьяжа Ойасио (аккреционная призма), сформировавших среднюю и нижнюю части тихоокеанского склона, рамповый полуграбен Японского желоба, а также привело к асимметричному погружению краевой части Северо-Западной плиты (подвижные автохтон и внешний борт желоба).

Автор благодарен О. А. Жердевой (ИМГиГ) за компьютерную подготовку графики и рецензенту за сделанные замечания и предложения, способствовавшие улучшению стиля и более компактному изложению.

ЛИТЕРАТУРА

Карта очагов и высот цунами в Тихом океане масштаба 1 : 2500000 / сост. С. Л. Соловьев, Ч. Н. Го; под ред. Г. П. Горшкова. – М. : ГУГК при Совете Министров СССР, 1977.

Короченцев В. И., Лисунов В. И., Абдрашитов А. Г. Использование «гравитационных» волн для увеличения вероятности правильного прогноза цунами // Физика геосфер : седьмой Всерос. симп., 5–9 сент. 2011 г. : материалы докл. – Владивосток : Дальнаука, 2011. – С. 135–138.

Ломтев В. Л. К строению ложа Северо-Западной Пацифики // Урал. геофиз. вестник. – 2010. – № 1(16). – С. 21–32.

Ломтев В. Л. Методы датирования глубоководных желобов // Геология дна Тихого океана и зоны перехода к Азиатскому континенту. – Владивосток : ДВО АН СССР, 1989. – С. 105–111.

Ломтев В. Л., Патрикеев В. Н., Сергеев К. Ф. и др. Пацифиды, Тетис и Пацифика // Геодинамика, геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов Дальнего Востока России. – Ю.-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 2004. – Т. 1. – С. 131–144.

Ломтев В. Л., Патрикеев В. Н. Структуры сжатия в Курильском и Японском желобах. – Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1985. – 141 с.

Ломтев В. Л., Никифоров С. П., Ким Ч. У. Тектонические аспекты коровой сейсмичности Сахалина // Вестник ДВО РАН. – 2007. – № 4. – С. 64–71.

Основные черты геологического строения дна Японского моря. – М. : Наука, 1978. – 264 с.

Тараканов Р. З., Ким Ч. У., Сухомлинова Р. И. Закономерности пространственного распределения гипоцентров Курило-Камчатского и Японского регионов и их связь с особенностями геофизических полей // Геофизические исследования зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану. – М. : Наука, 1977. – С. 67–77.

Тектоника Курило-Камчатского глубоководного желоба. – М. : Наука, 1980. – 179 с.

Тихонов И. Н., Василенко Н. Ф., Золотухин Д. Е. и др. Симуширские землетрясения и цунами 15 ноября 2006 года и 13 января 2007 года // Тихоокеан. геол. – 2008. – Т. 27, № 1. – С. 3–17.

Уэда С. Окраины глубоководных желобов северо-западной части Тихого океана // Геология континентальных окраин. – М. : Мир, 1978. – Т. 2. – С. 170–191.

Хамада К. Аномалии времен пробега продольных сейсмических волн и строение верхней мантии в Японии // Геофизические исследования зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану. – М. : Наука, 1977. – С. 40–55.

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.

Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project. – Washington: U. S. Govern. Printing Office, 1980. – Vol. 56, 57. – Pt. 1. – 629 p.

Tikhonov I.N., Lomtev V.L. Tectonic and seismological aspects of the Great Japan earthquake of March, 2011 // Geodynamics & Tectonophysics. – 2011. – Vol. 2, No. 2. – P. 145–160.

Wei D., Seno T. Determination of the Amurian plate motion, in mantle dynamics and plate interactions in East Asia // Geodyn. Ser. AGU. – Washington, 1998. – Vol. 27. – 419 p.

Поступила в редакцию 24.04.2012 г.

ON THE ISSUE OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE AND SEISMOTECTONICS OF THE HONSHU ARC PACIFIC SLOPE (IN CONNECTION WITH THE GREAT JAPANESE EARTHQUAKE AND TSUNAMI OF 11.03.2011)

V. L. Lomtev

Peculiarities of the Pacific margin structure & seismotectonics of the Honshu (NE Japan) island arc are considered by seismic (method of reflection waves – common depth point), drilling, and seismological data in the connection with the catastrophic Great Japanese ($M = 9,0$) tsunamigenic earthquake of 11.03.2011. It is showed that this event is connected with the deep thrust along the focal Benioff zone and its structural caprock – the Oyashio nappe of the acoustic basement in the middle Pacific Slope. The series of the consequent tectonic pendel tsunamis arose at the broad upper deep-sea terrace over the focal rhombus (crossing of upper planes of the Benioff and Tarakanov zones). This strong earthquake stirred up faults of the island arc, the mobile autochthon in the Japanese trench, and at the outer rise. Movement of the Oyashio nappe & the Honshu arc within the last ~ 0,5–1,0 mln. years was accompanied by the structural truncation and accretion of the Cenozoic cover with the formation of the accretion prism, medium and lower parts of the Pacific slope, the asymmetric ramp trench (semi-graben).

Key words: Honshu island arc, Japanese trench, opposite focal zones & rhombus, Oyashio nappe, acoustic basement, accretion prism, Cenozoic cover.