

ГЕОЛОГИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 550.34:551.24(1-925.71)

ТРЕХМЕРНЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧНОСТИ ЛИТОСФЕРЫ ЯПОНСКИХ ОСТРОВОВ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ

М.А. Васильева

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 697016,
e-mail: mahaonn2008@mail.ru

Анализируются 3D-модели распределений гипоцентров и магнитуд землетрясений в земной коре и верхней мантии Японских островов и окружающих акваторий. Охарактеризованы вертикальные и латеральные вариации магнитуд землетрясений в этом регионе. Обнаружены новые особенности расслоения тектоносферы Япономорского региона и строения Тихоокеанско-Японской сейсмофокальной зоны. Построенные модели предполагают гораздо более сложные механизмы коллизии Тихоокеанской плиты с Японской островной дугой по сравнению со стандартными моделями субдукции. Линейная зона концентрации гипоцентров землетрясений северо-восточного простирания располагается на океаническом побережье о. Хоккайдо и южном отрезке Курильской островной дуги. На Японском отрезке (о. Хонсю) линейные зоны аномальной сейсмичности имеют северо-западное простирание. Взаимное расположение этих зон и тренды распределений магнитуд землетрясений характеризуются признаками существования левого сдвига на границе Тихоокеанской и Охотоморской литосферных плит. Латеральные вариации магнитуд землетрясений в земной коре и верхней мантии Япономорского региона характеризуются противоположными трендами.

Ключевые слова: сейсмичность, реология, сейсмофокальная зона.

Введение

Япономорский регион расположен на стыке четырех литосферных плит: Евразийской (на западе), Тихоокеанской (на востоке), Охотоморской (на севере) и Филиппинской (на юге). К западу от Японских островов выявлены фрагменты параплатформы Янцзы [9], которые диагностируются по выходам докембрийских и архейско-протерозойских пород в пределах Центральной части Японского моря и острова Хонсю. По особенностям геологического строения Японские острова подразделяются на три зоны [25]: 1 – остров Хоккайдо, 2 – северо-восточная часть острова Хонсю, 3 – юго-западная часть острова Хонсю и остров Рюкю. Последние две отделены зоной разломов, между ними располагается меридиональный грабен (рифт) Фосса-Магна, на южном продолжении которого в океане протягивается Идзу-Бонинская (Огасавара) молодая вулканическая дуга [24].

Батиметрия Японского желоба и тектоническое строение дуги Хонсю (Тохоку) протяженностью 900 км и шириной 100 км изучаются более 100 лет [23, 26]. Современные представления о тектоническом строении этого региона начали

складываться в 70–80-е гг. прошлого столетия после отработки бурового геотраверса «Гломар Челленджер» многоканальным сейсмопрофилированием МОВ-ОГТ [28, 31, 32]. Важным дополнением стала геолого-геофизическая съемка подводных окраин Японского архипелага, выполненная Геологической службой Японии под руководством проф. Е. Хонза [29].

Тихоокеанская окраина острова Хонсю относится к одной из самых активных областей северо-западного фрагмента Тихоокеанского сейсмического пояса. По очагам мелкофокусных, промежуточных и глубокофокусных землетрясений в Японском звене этого пояса прослеживается сейсмофокальная зона (СФЗ) Заварицкого–Беньофа. Согласно большинству исследований, морфология СФЗ соответствует морфологии субдуцирующей Тихоокеанской плиты (рис. 1а).

Повышение точности (до 1–2 км) определения гипоцентров землетрясений в 70-е годы прошлого века позволило японским сейсмологам [30] выявить здесь двухслойную структуру фокальной зоны Беньофа, состоящей из двух субпараллельных плоскостей, наклоненных к западу до глубин

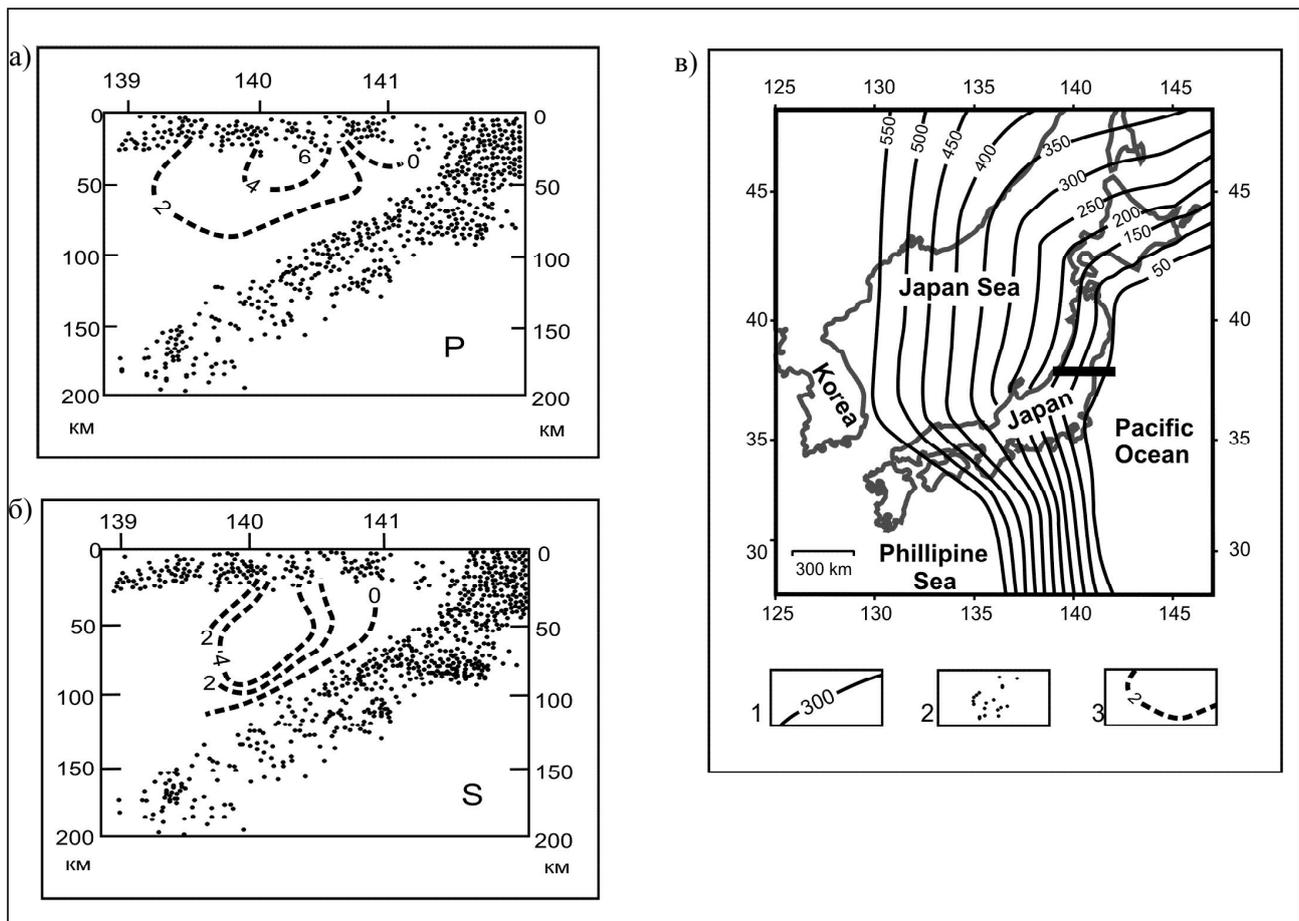


Рис. 1. Распределение гипоцентров землетрясений о. Хонсю (а, б) [18] и положение кровли Тихоокеанской плиты (v) [35] в Японской зоне перехода «континент-океан»: 1 – изолинии глубин кровли субдущающей Тихоокеанской плиты [35], 2 – гипоцентры землетрясений, 3 – изолинии пониженных скоростей (%) [19]. P – продольные волны, S – поперечные

Fig. 1. Distribution of the Honshu island earthquake hypocenters (a, b) [18], and position of the roof of the Pacific plate (v) [35] in the Japanese zone of the «continent-ocean» transition: 1 – isolines of depths of the subducting Pacific plate roof [35]; 2 – isolines of earthquake hypocenters; 3 – isolines of decreasing values of wave speed (percentage) [19]; P – longitudinal waves, S – transversal waves

150–200 км под углом 30° и разные типы сейсмодислокаций в ее верхней (надвиги) и нижней (сбросы) плоскостях.

Исследованиями сахалинских сейсмологов под руководством Р.З. Тараканова [18] также обнаружено раздвоение сейсмофокальной зоны Беньюфа (рис. 1а, б). Выход этой зоны на тихоокеанском побережье Хонсю с 1975 г. называют асейсмичным фронтом [34]. Этот фронт совпадает с зоной пониженной скорости сейсмических волн (рис. 1а, б) [19]. Зона перехода континент-океан характеризуется сложным распределением скоростей Р- и S-волн. Пониженные скорости регистрируются в трассах, проходящих под глубоководными

котловинами и по внешним границам Японского моря [19]. Кроме того, наблюдается расщепление сейсмических волн [33], что обусловлено расчлененностью геологического разреза. В приводимых разрезах (рис. 1а, б) можно видеть признаки расщепления СФЗ на коровую и нижнюю литосферную составляющие.

Постановка задачи

Отображения следов сейсмических процессов в разрезе тектоносферы Японских островов обычно ограничиваются группированием гипоцентров землетрясений в сейсмофокальной зоне с целью обоснования субдукции Тихоокеанской литосферной плиты под островную дугу [8, 19]

(рис. 1). Зона субдукции прослеживается до глубины 400–500 км [1, 35]. Реже скопления гипоцентров изометричной формы представляют в форме «сейсмических гвоздей», которые связывают с локальными притоками мантийных флюидов [2]. В плане поля сейсмичности отображаются распределения эпицентров землетрясений, которые группируются вдоль разломов на границах литосферных плит [27], а их магнитуды анализируются преимущественно при оценках сейсмической опасности. За исключением анализа зон разломов и субдукции, магнитуды землетрясений редко используются с целью расшифровки глубинного строения литосферы.

Реализуемый автором подход к изучению геологических причин и закономерностей пространственного распределения землетрясений основывается на анализе 3D-распределений гипоцентров и магнитуд землетрясений, которые дают возможность проследить связь сейсмических событий с объемным геологическим строением исследуемой территории в непрерывном пространстве. Такой подход учитывает не только положение гипоцентров землетрясений, но и ин-

тенсивность сейсмических событий, выраженную в значениях магнитуд [5, 13]. Магнитуды землетрясений, в свою очередь, опосредованно связаны со степенью вязкости (реологией) и, как следствие, – прочности (жесткости) и, соответственно, хрупкости тектонических сред и величинами тектонических напряжений, обеспечивающих условия для накопления сейсмической энергии.

Задачей исследований является пространственно-дискретный (послойный) анализ распределений гипоцентров и магнитуд землетрясений в зоне столкновения Тихоокеанской литосферной плиты с Японской островной дугой.

Методика построения пространственных моделей распределений магнитуд и гипоцентров землетрясений

Правительствами Российской Федерации, Японии и Кореи организован обмен данными о землетрясениях, вулканической активности и цунами [17] с целью прогнозирования, предупреждения о возникновении и ликвидации последствий землетрясений. В рамках государственной программы о сотрудничестве Геофизическая Служба РАН получает данные с сейсмических станций Мацусиро –

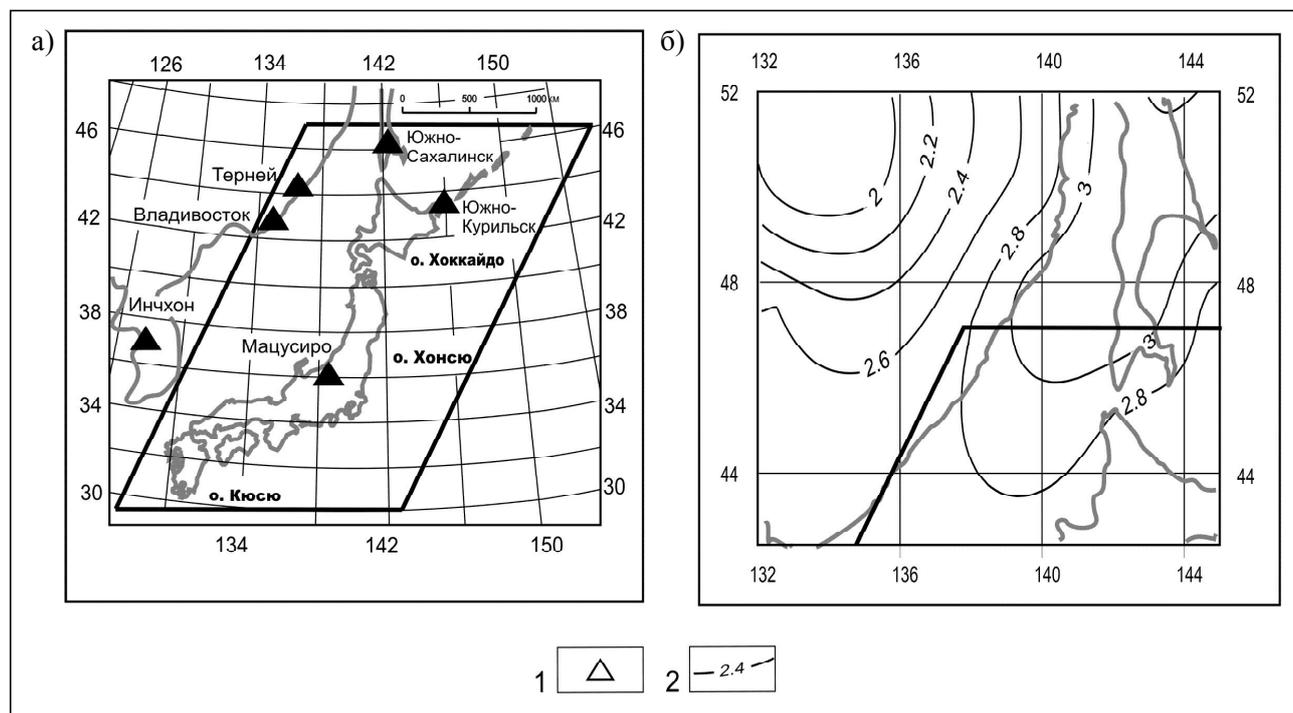


Рис. 2. Расположение сейсмических станций (а) и представительность магнитуд землетрясений по каталогам ГС РАН на севере Японского моря (б): 1 – сейсмические станции; 2 – изолинии представительных магнитуд

Fig. 2. Position of seismic stations (a); earthquake magnitudes according to the GS RAS catalogs in the North Sea of Japan (b): 1 – seismic stations; 2 – isolines of representative magnitudes

на о. Хонсю и Инчхон – в Корею (рис. 2а).

С помощью программы MagUnif.ver2, в основе которой лежит алгоритм В.Б. Смирнова [14, 15], была построена карта представительности магнитуд для северной части Японского моря по данным российских сейсмических станций (рис. 2б). В этом районе представительными магнитудами являются магнитуды $M > 2.8$. Представительность магнитуд в южных районах Японского моря по российским сейсмическим каталогам определить не удалось и автор приняла в качестве минимальной представительной магнитуды значение $M = 4.5$. Таким образом, сейсмический каталог, используемый для наших модельных построений, на территории северной части Японского моря мы ограничили землетрясениями с магнитудами $M > 3.0$, а на остальной территории – $M > 4.5$.

Исходными данными для рассматриваемых ниже моделей являются сейсмические каталоги ГС РАН за период с 2000 по 2013 гг. [36]. По этим каталогам были сформированы цифровые 3D-массивы $M(x, y, z)$, где M – магнитуды землетрясений по объемным волнам; x, y, z – координаты гипоцентров.

С помощью стандартных средств перевода цифровой информации в графические образы (Sufer-8) и вспомогательного интерфейса Глаголева-Петрищевского [4] был составлен комплект послойных карт-срезов и разрезов распределений средних магнитуд и гипоцентров землетрясений. При использовании стандартного пакета Surfer-8 автор применяла двумерную (в пространствах координат x, y ; и x, z) крайгинг-интерполяцию для получения гладкой функции, описывающей распределения магнитуд землетрясений по их дискретным значениям в заданных интервалах глубин.

При изучении земной коры интервалы глубин условных слоев составляли 11–16, 20–32, 34–40 км. Для изучения распределений магнитуд в мантийном диапазоне слои ограничивались поверхностями на глубинах: 41–50, 51–60, 61–70, 71–80, 81–90, 91–100, 101–110, 111–120, 121–130, 131–140, 141–150, 151–160, 161–170, 171–180, 181–200, 201–250, 251–300, 301–350, 351–400, 401–450, 451–500 км. В Япономорском регионе число землетрясений в верхней мантии предоставляло возможность изучать распределения магнитуд землетрясений до глубины 450 км, ниже которой неравномерное распределение гипоцентров сейсмических событий не позволяет делать обоснованные выводы о реологических свойствах глубоких слоев верхней мантии на территории этого региона.

Для каждого условного слоя вычислялись тренды распределения магнитуд, относимые к средней глубине слоя. В дальнейшем они использовались для построения разрезов $M(x, y, z)$ -моделей. Методика построения разрезов подробно описана в работе [4].

Приводимые ниже модели распределений гипоцентров и магнитуд землетрясений в Япономорском регионе основываются на анализе 3600 сейсмических событий, зарегистрированных в период с 01.01.2000 г. по 31.12.2011 г. Как показал опыт подобных исследований в Охотоморском регионе, Среднем и Нижнем Приамурье [5, 6], слоям, зонам и областям повышенных и высоких магнитуд соответствуют блоки и террейны, сложенные древними кристаллическими комплексами. Низкие значения осредненных магнитуд наблюдаются в рифтогенных структурах, под вулканическими поясами и в подкупольных зонах плюмов, где мантийная магла и флюиды регистрируются по сейсмическим, магнито-теллурическим (МТЗ) и термометрическим данным. Таким образом, размещение и интенсивность землетрясений оказываются связанными с реологическими свойствами тектоносферы [5, 6, 12, 13].

3D-модель сейсмичности Японских островов

В вертикальных разрезах 3D-модели распределений магнитуд землетрясений ясно проявлены черты реологического расслоения тектоносферы Япономорского региона. Высокими значениями магнитуд маркируются слои повышенной вязкости (рис. 3в, г). Первый слой (интервал глубин 1–10 км, магнитуды $MLH(M) = 5.4–6.4$) проявлен фрагментарно (ограничен по простиранию) в тихоокеанской части изученной территории, примыкающей к Японским островам (рис. 3в, г). Он соответствует первому кристаллическому слою океанической коры [10, 20]. Второй слой в интервале глубин 20–40 км (рис. 3в, г) с магнитудами $M = 5.2–5.8$ протягивается со стороны Тихого океана под остров Хонсю. Западная часть этого слоя (под островом Хонсю) приподнята на 5–10 км. Этот слой коррелируется со вторым (вулканогенным) и третьим (офиолитовым) кристаллическими слоями океанической коры [11, 18]. Наиболее сейсмичным является интервал глубин 33–40 км, содержащий 2192 гипоцентра землетрясений.

Третий слой (рис. 3в, г) залегает на глубине 120–170 км под котловиной Японского моря и островом Хонсю ($M = 5.0–5.4$). Под островом Хонсю этот слой расщепляется на две части. Верхняя часть воздымается до глубины 60 км. Нижняя часть слоя простирается горизонтально под аква-

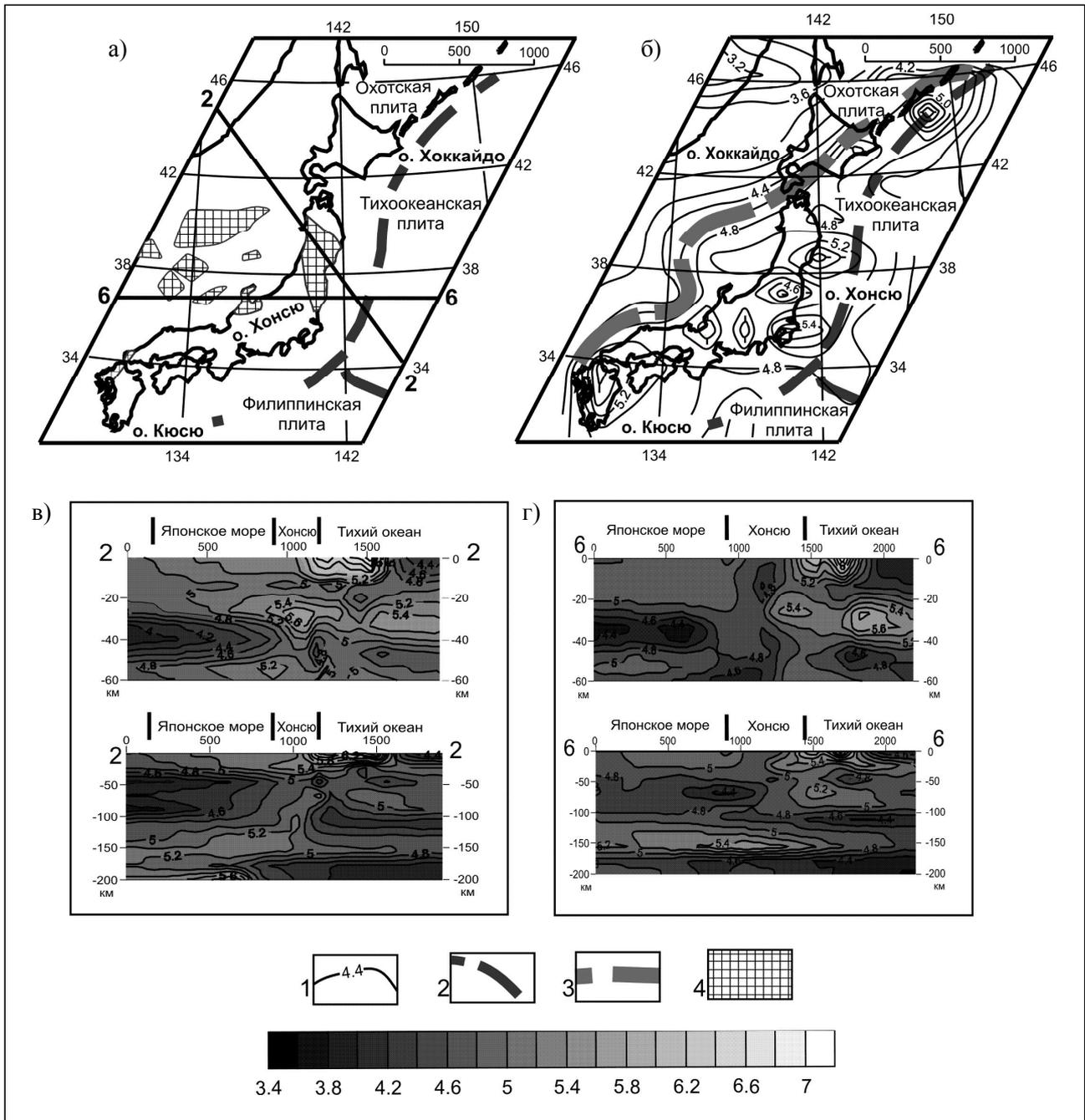


Рис. 3. Тектоническая схема (а), распределения магнитуд землетрясений в нижнекоровом слое (33–40 км) (б) и разрезах (в, г) Японской переходной зоны «континент-океан»: 1 – изолинии средних магнитуд землетрясений; 2 – границы литосферных плит; 3 – западная граница Тихоокеанской плиты на глубине 33–40 км; 4 – блоки параплатформы Янцзы с архейско-раннепротерозойским фундаментом [9]

Fig. 3. Tectonic scheme (a); distributions of earthquake magnitudes in a lower crustal layer (33–40 km) (b) and cuts (v, g); Japanese «continent-ocean» transition zone: 1 – isolines of average earthquake magnitudes; 2 – borders of earth's plates; 3 – the western boundary of the Pacific plate at a depth of 33–40 km; 4 – blocks of the Yangtze paraplatform with an Archaean-Early Proterozoic foundation [9]

торией Японского моря. Этот слой, по-видимому, соответствует нижнему слою континентальной литосферы.

Кроме сейсмических слоев с выраженным горизонтальным простиранием наблюдаются локальные зоны повышенной сейсмичности в интервалах глубин 0–10, 20–40 и 50–60 км, видимые в разрезе 2-2 (рис. 3в) под островом Хонсю. В этом же разрезе в интервале глубин 70–160 км регистрируется наклонная зона повышенных магнитуд землетрясений, которая может быть связана с субдукцией Тихоокеанской плиты.

Слои повышенной сейсмичности ($M=5.2-6.0$) разделяются зонами пониженной сейсмичности ($M=4.0-4.8$). В нижней коре в интервале глубин 20–50 км регистрируется горизонтальный слой пониженных магнитуд (рис. 3в, г), расположенный под акваторией Японского моря, которому соответствует понижение сейсмических скоростей продольных волн (рис. 1б) [19].

Второй слой пониженной сейсмичности залегает в интервале глубин 70–100 км (рис. 3в) под акваторией Японского моря и, возможно, соответствует астеносфере. Этот слой выражен понижением скоростей поперечных волн (рис. 1б). Третий слой пониженной вязкости, в интервале глубин 100–150 км, расположен под Северо-Западной котловиной Тихого океана (рис. 3в). Этот же слой в другом разрезе (рис. 3г) регистрируется в диапазоне глубин 100–130 км. Ниже в верхней мантии регистрируется четвертый слой пониженных магнитуд, интервал глубин 170–200 км. Этот слой, так же как предыдущий, простирается горизонтально под Северо-Западной акваторией Тихого океана и прослеживается на запад под островную дугу и Японское море.

В интервале глубин 33–40 км резким скачком магнитуд землетрясений регистрируется западная граница тихоокеанской коры (рис. 3б), которая смещена в северо-западном направлении относительно ее приповерхностной границы, что может рассматриваться в качестве признака пододвигания нижнего слоя океанической коры под островодужные структуры.

Выполненные исследования обнаружили противоположные тренды латеральных вариаций магнитуд землетрясений в коре и мантии Япономорского региона (рис. 4). В нижней коре (рис. 4а, б), в интервале глубин 34–70 км, регистрируются 2 основных направления векторов увеличения магнитуд. В пределах Японского моря преобладающий вектор направлен в сторону Ти-

хого океана, в пределах Тихого океана – в сторону континента.

Ниже, в подастеносферной мантии (рис. 4в, г), в диапазоне глубин 140–200 км, все векторы увеличения магнитуд землетрясений ориентированы в сторону континента. Такие же противоположные тренды средних магнитуд выявлены в тектоносфере Охотского моря [7].

Поскольку горизонтальные составляющие тектонических напряжений в регионе обусловлены давлением жестких тектонических пластин или блоков, а в региональном масштабе – динамикой литосферных плит, векторы изменения средних магнитуд могут быть опосредованно связаны с тектоническими напряжениями и тогда рис. 4 в общих чертах характеризует латеральные сеймотектонические напряжения в земной коре и верхней мантии Япономорского региона. Так, распределения трендов магнитуд в нижней коре и подкоровом слое верхней мантии предполагают существование обстановок поперечного (по отношению к островной дуге) сжатия и продольного сдвига. В верхней мантии, в интервале глубин 140–200 км, распределения магнитуд предполагают геодинамическую обстановку одностороннего давления со стороны Тихоокеанской плиты.

Обнаруженные противоположные латеральные тренды средних магнитуд согласуются с концепцией расслоенной тектоносферы [13, 16, 21].

Детальное изучение 3D-моделей распределения гипоцентров землетрясений позволило выявить новые особенности строения сейсмофокальной зоны. В Япономорском регионе гипоцентры землетрясений в плане и по вертикали распределены неравномерно и большая часть их приурочена к тихоокеанскому побережью Японии. Сейсмофокальная зона неоднородна по простиранию и прерывиста по вертикали. В литосферном диапазоне регистрируются три четко выраженные линейные зоны концентрации гипоцентров землетрясений (рис. 5): на южном отрезке Курильской островной дуги (диапазон глубин 34–200 км), на северо-восточном побережье (34–90 км) и в средней части острова Хонсю (34–90 км).

На северном (Хоккайдо-Южно-Курильском) отрезке СФЗ линейная зона концентрации землетрясений занимает вертикальное положение в интервале глубин 34–90 км (рис. 5а, б). В слое 90–200 км эта зона незначительно смещена к северо-западу (рис. 5в, г). На южном отрезке Японской СФЗ линейные зоны концентрации гипоцентров землетрясений разорваны и ориентированы под

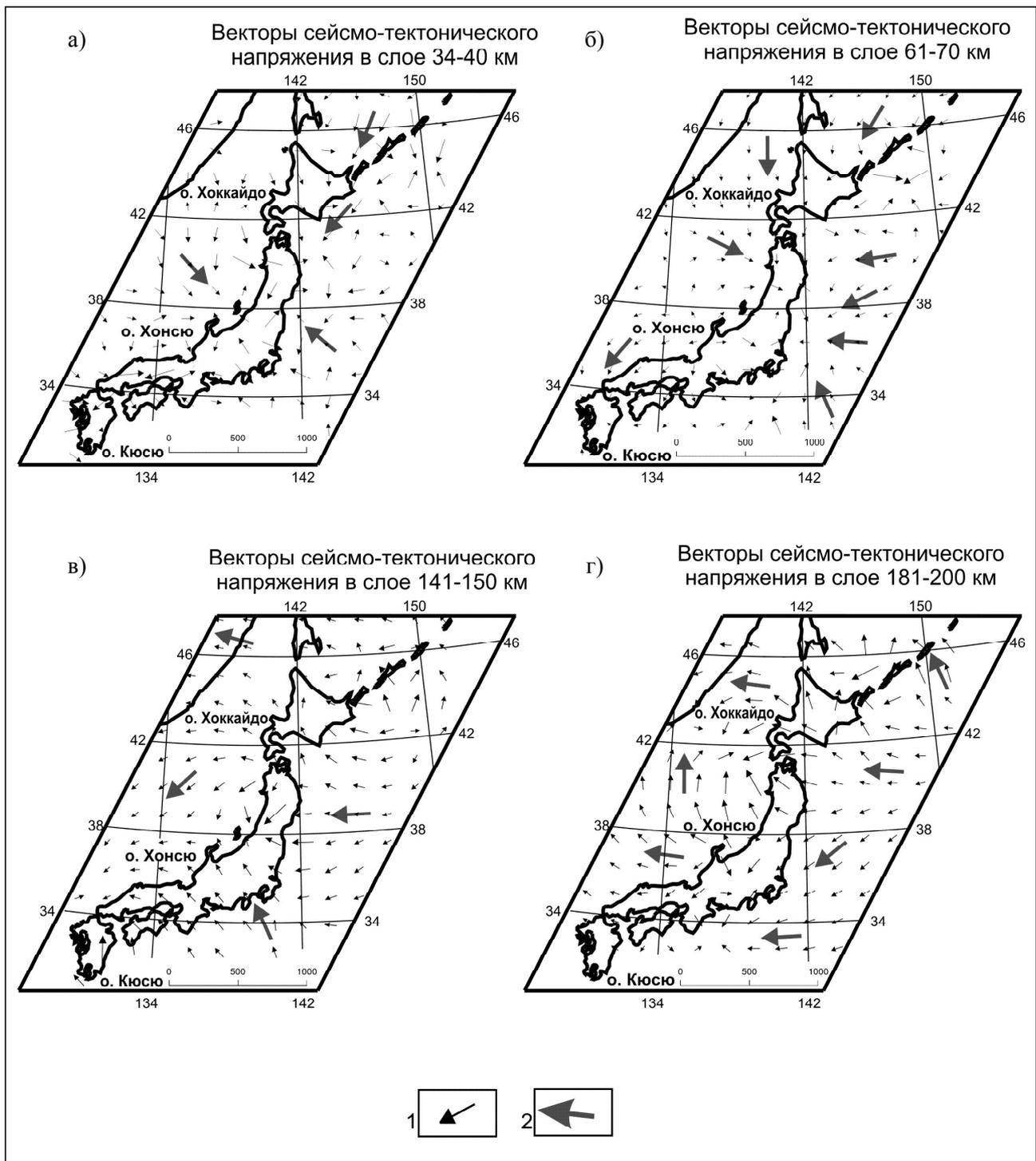


Рис. 4. Тренды магнитуд землетрясений, связываемые с предполагаемыми векторами сейсмоструктурных напряжений в земной коре и верхней мантии Япономорского региона: 1 – локальные векторы увеличения магнитуд; 2 – региональные векторы предполагаемых сейсмоструктурных напряжений

Fig. 4. Trends of earthquakes magnitudes, associated with the assumed vectors of seismotectonic stresses in the earth's crust and upper mantle: 1 – local vectors magnification of magnitudes; 2 – regional vectors of the assumed seismotectonic tension

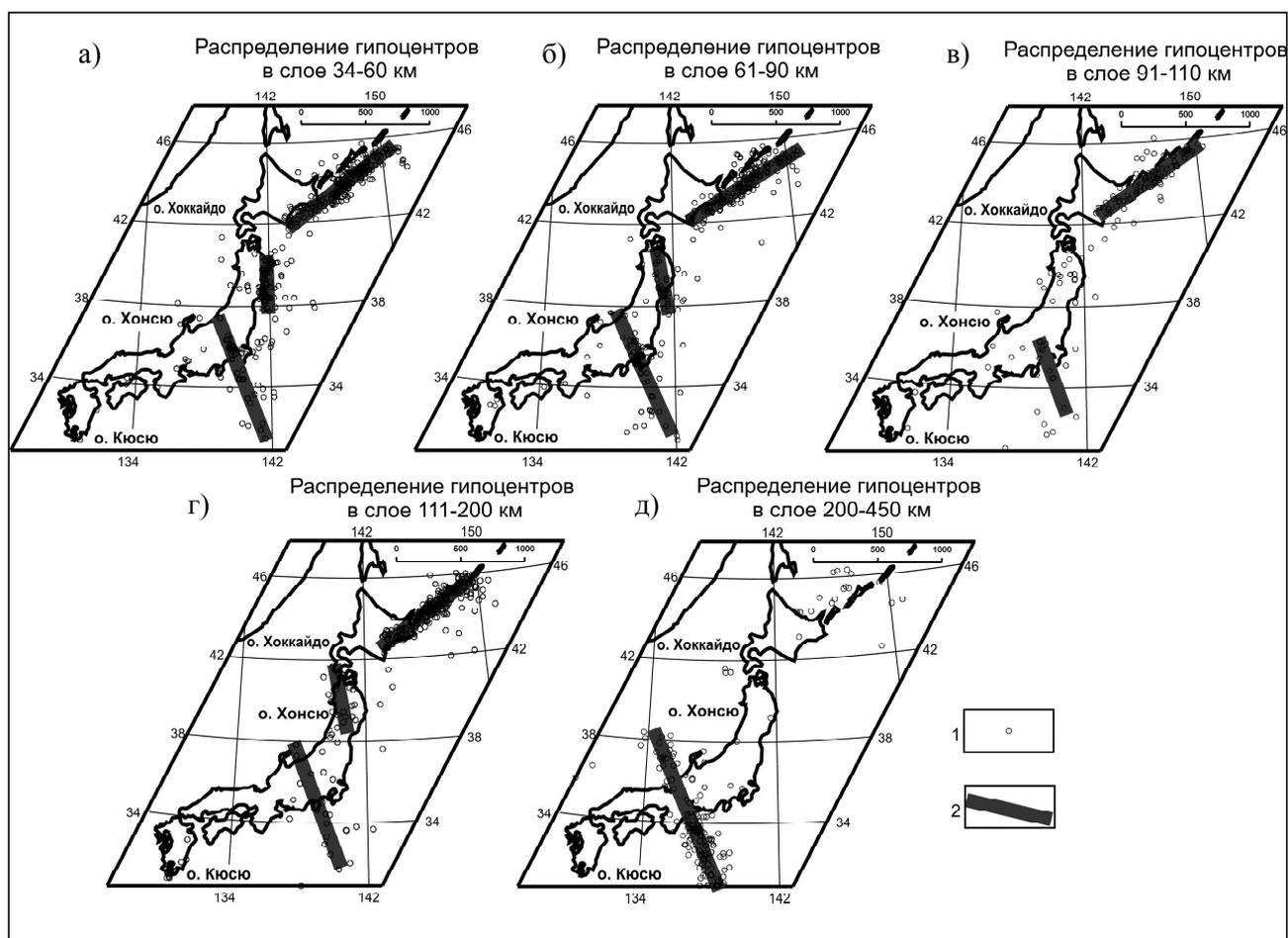


Рис. 5. Послойное распределение гипоцентров землетрясений в Японской сейсмофокальной зоне: 1 – гипоцентры землетрясений, 2 – зоны высокой и повышенной концентрации гипоцентров землетрясений

Fig. 5. Layered distribution of earthquake hypocenters in the Japanese seismofocal zone: 1 – earthquake hypocenters; 2 – zones of high and increased concentration of earthquake hypocenters

углом к генеральному простиранию СФЗ (рис. 5). Здесь хорошо выражены две поперечные зоны концентрации гипоцентров землетрясений в северной и в средней частях острова Хонсю. Первая – северная – зона (на северо-востоке о. Хонсю) характеризуется закономерным смещением осей сейсмичности в западном направлении (рис. 5а, б, в), а вторая – южная – (пересекающая о. Хонсю в его средней части) – занимает вертикальное положение в интервале глубин 60–110 км (рис. 5а, б, в), а на более глубоких уровнях (интервал глубин 110–450 км) – смещается в юго-западном направлении (рис. 5г, д). Южная зона глубокофокусной сейсмичности северо-западного простирания совпадает с Восточным-Нампо-Танакура (Восточно-Японорским) сейсмо-линеamentом [22].

Выводы

Выполненные исследования позволили сделать несколько важных выводов, дополняющих известные данные о строении Японской сейсмофокальной зоны и реологической расслоенности земной коры и верхней мантии в Япономорской переходной зоне «океан – островная дуга – окраинное море».

1. В тектоносфере Японского моря выявлены три тренда латеральных вариаций магнитуд землетрясений, связываемые с трендами сеймотектонических напряжений: в нижнем слое земной коры преобладающие векторы увеличения магнитуд землетрясений ориентированы по направлению к океану и вдоль островной дуги, а в подастеносферной мантии – к континенту. В пре-

делах северо-западной котловины Тихого океана векторы увеличения магнитуд неизменно направлены к континенту. Такие же тренды магнитуд были выявлены автором в переходной зоне «Тихий океан – Охотское море – континент» [7].

2. Выявлены признаки значительной дифференциации Японской сейсмофокальной зоны в плане и по вертикали, что обусловлено тектонической расслоенностью земной коры и верхней мантии на границе Тихоокеанской плиты с Япономорской островной дугой и сложным характером тектонических напряжений. Строение северного и южного отрезков СФЗ резко различается (рис. 5). Северный отрезок (юго-восточное побережье о. Хоккайдо и Южные Курилы) ориентирован согласно генеральному северо-восточному простиранию СФЗ, а на южном отрезке регистрируются две линейные зоны концентрации гипоцентров землетрясений северо-западного направления, занимающие поперечное положение относительно генерального простирания сейсмофокальной зоны. Таким образом, рассмотренные модели предполагают гораздо более сложные механизмы коллизии Тихоокеанской плиты с Японской островной дугой по сравнению со стандартными моделями субдукции однослойной тихоокеанской литосферы.

3. Признаки субдукции Тихоокеанской плиты под островную дугу проявлены фрагментарно на северном отрезке зоны закономерным северо-западным смещением отрезков СФЗ в разных глубинных диапазонах. На южном отрезке СФЗ наблюдаются закономерные западные и юго-западные смещения осей повышенной сейсмичности. Взаимное расположение осей повышенной сейсмичности характеризуется признаками левого сдвига. О существовании сдвиговых напряжений в земной коре и нижней литосфере свидетельствуют также тренды магнитуд под о. Хонсю (рис. 5а, з).

4. В нижней коре Япономорского региона маркируется сейсмологическая граница между Тихоокеанской плитой и Японской островной дугой. Она смещена к северо-западу от тектонической границы, что может быть обусловлено поддвижением тихоокеанской коры под островную дугу.

Статья подготовлена при поддержке Гранта ДВО РАН 15-1-2-004 по программе фундаментальных исследований ДВО РАН «ДАЛЬНИЙ ВОСТОК» на 2015–2017 гг.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Апродов В.А. Зоны землетрясений. М.: Мысль, 2000. 461 с.
2. Вадковский В.Н., Веселовский Р.В. «Сейсмические гвозди» Японской зоны субдукции // Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики. М., 2000. С. 4–5.
3. Гнибиденко Г.С., Быкова Т.Г., Веселов О.В., Воробьев В.М., Ким Чун Ун, Тараканов Р.З. Тектоника Курило-Камчатского глубоководного желоба. М.: Наука, 1980. 179 с.
4. Глаголев В.Н., Петрищевский А.М. Простой алгоритм построения разрезов с использованием 3D-массивов геолого-геофизической информации (Юго-Восток России) // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29, № 3. С. 78–85.
5. Губанова М.А., Петрищевский А.М. Гравитационные и сейсмологические признаки реологического расслоения литосферы дальневосточных окраин России // Литосфера. 2014. № 6. С. 150–161.
6. Губанова М.А., Петрищевский А.М. Связь сейсмичности с глубинным геологическим строением Приамурья Маньчжурии // Региональные проблемы. 2011. Т. 14, № 2. С. 51–56.
7. Губанова М.А. Тектонические аспекты сейсмичности северо-западной окраины Тихоокеанской плиты // Современные проблемы регионального развития. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2014. С. 167–168.
8. Дальневосточные моря России. Кн. 3. Геологические и геофизические исследования. М.: Наука, 2007. 503 с.
9. Изосов Л.А. Перспективы алмазности Япономорского звена Западно-Тихоокеанской зоны перехода континент–океан: новые данные и проблемы // Региональные проблемы. 2010. Т. 13, № 2. С. 45–51.
10. Косминская И.П., Капустян Н.К. Обобщенная сейсмическая модель коры океанического типа // Известия АН СССР. Физика Земли. 1975. № 2. С. 3–15.
11. Патрикеев В.Н., Ломтев В.Л., Немченко Г.С. Сейсмостратиграфия мезозойского осадочного чехла северо-западной плиты Тихого океана // Структура и вещественный состав осадочного чехла северо-запада Тихого океана. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С. 5–20.
12. Петрищевский А.М., Васильева М.А. 3D-тектонический анализ полей сейсмичности в

- южных районах Дальнего Востока России // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326, № 3. С. 25–37.
13. Петрищевский А.М. Гравитационные модели двухъярусной коллизии литосферных плит на Северо-Востоке Азии // Геотектоника. 2013. № 6. С. 60–83.
 14. Смирнов В.Б., Габсатарова И.П. Представительность каталога землетрясений северного Кавказа: расчетные данные и статистические оценки // Вестник ОГГГН РАН. 2000. № 4(14). С. 83–99.
 15. Смирнов В.Б. Прогностические аномалии сейсмического режима. I. Методические основы подготовки исходных данных // Геофизические исследования. 2009. Т. 10, № 2. С. 7–22.
 16. Соколов С.Д. Концепция тектонической расчлененности литосферы: история создания и основные положения // Геотектоника. 1990. № 6. С. 3–19.
 17. Старовойт О.Е., Маловичко А.А. Сеть сейсмических наблюдений в России в 2003–2006 гг. // Национальный отчет Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли Международного геодезического и геофизического Союза 2003–2006. М.: Национальный геофизический комитет, 2007. С. 7–12.
 18. 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.
 19. Тараканов Р.З. Обобщенная скоростная модель зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану // Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений. I Российско-Японский семинар, Хабаровск, 26–29 сентября 2000 г. / под ред. Ф.Г. Корчагина. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2001. С. 72–91.
 20. Тектоника северо-западной части Тихого океана. М.: Наука, 1983. 120 с.
 21. Тектоническая расчлененность литосферы и региональные геологические исследования. М.: Наука, 1990. 293 с.
 22. Уломов В.И. Динамика земной коры Средней Азии и прогноз землетрясений. Ташкент: ФАН, 1974. 218 с.
 23. Уэда С. Окраины глубоководных желобов северо-западной части Тихого океана // Геология континентальных окраин. М.: Мир, 1978. Т. 2. С. 170–191.
 24. Филатова Н.И. Закономерности динамики окраинноморского магматизма (Корейско-Японский регион) // Литосфера. 2014. № 3. С. 33–56.
 25. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов. М.: Научный мир, 2001. 606 с.
 26. Хосино М. Морская геология. М.: Недра, 1984. 342 с.
 27. Шерман С.И., Злогодухова О.Г. Сейсмические пояса и зоны земли: формализация понятий, положение в литосфере и структурный контроль // Геодинамика и тектофизика. 2011. Т. 2, № 1. С. 1–34.
 28. Шиши Ц., Мисава Ю. Геологическое строение и тектоника внутренних склонов Нанкайского трюга и Японского желоба // Геотектоника. 1980. № 6. С. 98–109.
 29. Geological investigations in the northern margin of Okinawa Trough and western margin of Japan sea. Geological Survey of Japan. Tokyo. 1978. N 10. 80 p.
 30. Hasegawa A., Umino T., Takagi A., et al. Doubleplaned deep seismic zone and anomalous structure in the upper mantle beneath Northeastern Honshu (Japan) // Tectonophysics. 1979. Vol. 57, N 1. P. 1–6.
 31. Initial Reports of the DeepSea Drilling Project. Vol. 56, 57. Govern. Printing Office. Washington: U.S. 1980. Pt. 1. 629 p.
 32. Matsuzawa A., Tamano T., Aoki Y., et al. Structure of the Japan trench subduction zone from multichannel seismicreflection records // Marine Geology. 1980. Vol. 35, N 1–3. P. 171–182.
 33. Iidaka T. Shear-wave splitting analysis of later phases in southwest Japan. A lineament structure detector inside the crust // Earth Planets Space. 2003. N 55. P. 277–283.
 34. Yoshii T. Proposal of the «aseismic front» // Journal of Seismological Society of Japan. 1975. Vol. 28, N 3. P. 365–367.
 35. Zhao D., Hasegawa A., and Kanamori H., Deep structure of Japan subduction zone as derived from local, regional and teleseismic events // Journal of Geophysical Research. 1994. Vol. 99. P. 22313–22329.
 36. Последние землетрясения по данным Службы Срочных Донесений. URL: <http://www.ceme.gsras.ru/> (дата обращения: 10.04.2017).

3D-ANALYSIS OF THE JAPANESE ISLANDS AND ADJACENT AQUATORIES LITOSPHERE SEISMICITY

M.A. Vasilyeva

In the article, the author considers 3D models of distributions of earthquakes hypocenters and magnitudes in the crust and upper mantle of the Japanese islands and surrounding water areas. Vertical and horizontal variations of the earthquake magnitudes are described. It is revealed the new features of the tectonosphere layering of the Japan Sea region and the Pacific-Japanese seismic-focal zone structure. The constructed models assume much more complex mechanisms of the Pacific plate collision with the Japanese island arch in comparison with the standard models of subduction. The linear zone of concentration of the NE strike earthquake hypocenters is located on the oceanic coast of the Hokkaido Island and in the southern part of the Kuril island arch. On the Japanese segment (Honshu Island), linear zones of abnormal seismicity have the NE strike. Their mutual arrangement and the trends of the earthquake magnitude distributions show the signs of the left shift on the border of the Pacific and Okhotsk lithospheric plates. Lateral variations of the earthquake magnitudes in the crust and upper mantle of the Japan Sea region are characterized by opposite trends.

Keywords: seismicity, rheology, seismic focal zone.