

УДК 550.311

МОДЕЛЬ ЯПОНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2011 г. ($M=9.0$)

© 2011 г. В.П. Трубицын^{1,2}

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

² Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва, Россия

Внутриплитовые землетрясения описываются моделью сдвигов по разрывам в сплошной или трещиноватой среде. Такая же модель пригодна и для усредненного описания межплитовых землетрясений, в частности сильных землетрясений в зонах субдукции. Однако для сильного Японского землетрясения необходима более детальная модель, учитывающая всю совокупность новых данных сейсмологии, тектоники и спутниковых измерений. Ею может быть модель упругой островной плиты, зацепляющейся за подводные горы пододвигающейся океанической плиты. Подводные горы, находящиеся на погружающейся океанической плите, тормозят ее движение, зацепляясь за неровности подошвы вышележащей островной плиты. При разрыве сцепления гора, подобно плугу, вспарывает подошву вышележащей плиты, становясь дополнительной причиной возникновения более слабых межплитовых землетрясений, форшоков и афтершоков. Главное землетрясение может быть связано с воздействием на этот процесс плато или большей горы, лавинообразно вспарывающей большую область сцепленных плит. В первом приближении можно считать, что погружающаяся океаническая плита, несмотря на деформацию, движется примерно с постоянной скоростью как при землетрясении, так и при его подготовке. Островная плита ведет себя подобно упругой пластине, постоянно изгибающейся под действием момента сил на стыке с погружающейся океанской плитой. После землетрясения изогнутая островная плита упруго выпрямляется. Это приводит к ее надвигу на погружающуюся океаническую плиту. При этом островная плита продвигается в сторону океана, ее океаническая часть поднимается, а приостровная опускается, в результате чего возникает цунами.

Ключевые слова: островные дуги, субдукция, упругая отдача, неровности плиты.

PACS 91.30.Bi, 91.30.Ga, 91.30.Px

Введение

После распада суперконтинента Пангеи Тихий океан стал сокращаться [Трубицын, 2006]. При этом на севере континент Северная Америка соединился с Евразией в районе Чукотка–Аляска, в результате чего Северо-Американская плита стала простирается на часть территории Евразии, включая небольшую Охотскую плиту (рис. 1).

Согласно палеореконструкциям, 20 млн лет назад так называемые мантийные течения оторвали от Евразии и отодвинули узкие участки континента [Трубицын, Рыков, 2001]. В результате возникла дуга Японских островов, отделенная от Евразии краевым Японским морем. В настоящее время движущаяся на северо-запад Тихоокеанская плита наклонно погружается в мантию под Охотскую плиту, в ее южной части – под о. Хонсю [Трубицын, Рыков, 1997]. В результате островодужного вулканизма континентальная кора Японских островов постоянно растет.

На рис. 2 приведено распределение эпицентров и очагов землетрясений Японских островов за последнее столетие. Распределение по разрезу позволяет разделить землетрясения, происходящие в континентальной Охотской плите и в океанической Тихоокеанской плите, поскольку наклонная полоса очагов четко очерчивает погружающуюся в мантию и пододвигающуюся под о. Хонсю Тихоокеанскую плиту.

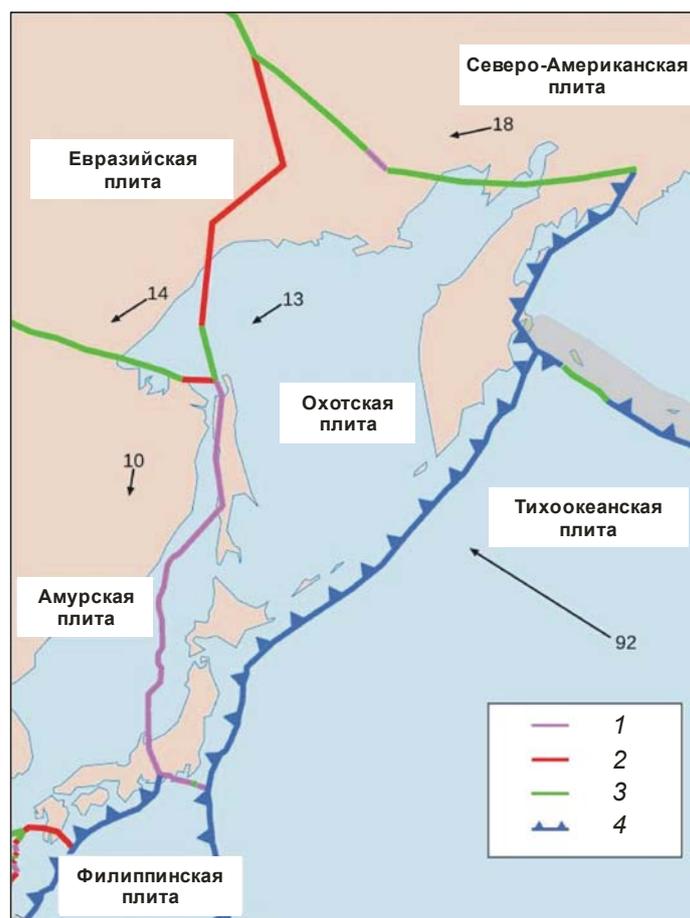


Рис. 1. Литосферные плиты вблизи Японских островов по данным http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tectonic_plates_boundaries_detailed-fr.svg

1 – конвергентная граница; 2 – дивергентная граница; 3 – трансформный разлом; 4 – зона субдукции; цифры у стрелок – скорости (мм/год)

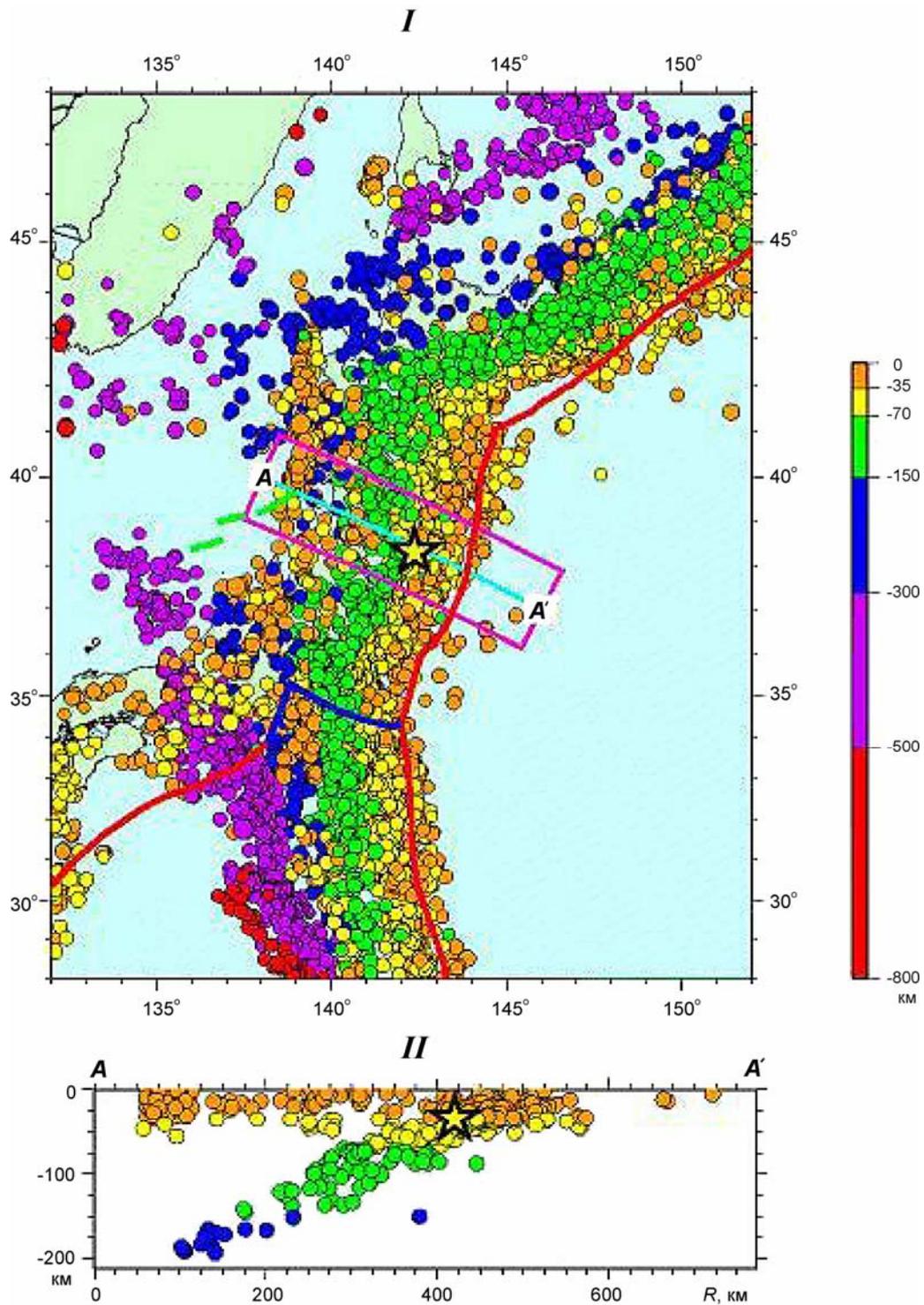


Рис. 2. Землетрясения на Японских островах за период с 1900 г. до настоящего времени по данным Геологической службы США (US Geological Survey, <http://www.iris.edu/news/events/japan2011/>)

I – очаги землетрясений, звездой отмечено землетрясение 11.03.2011 г.; справа – шкала глубин очагов (км); *II* – распределение очагов землетрясений по глубинному разрезу через о. Хонсю.

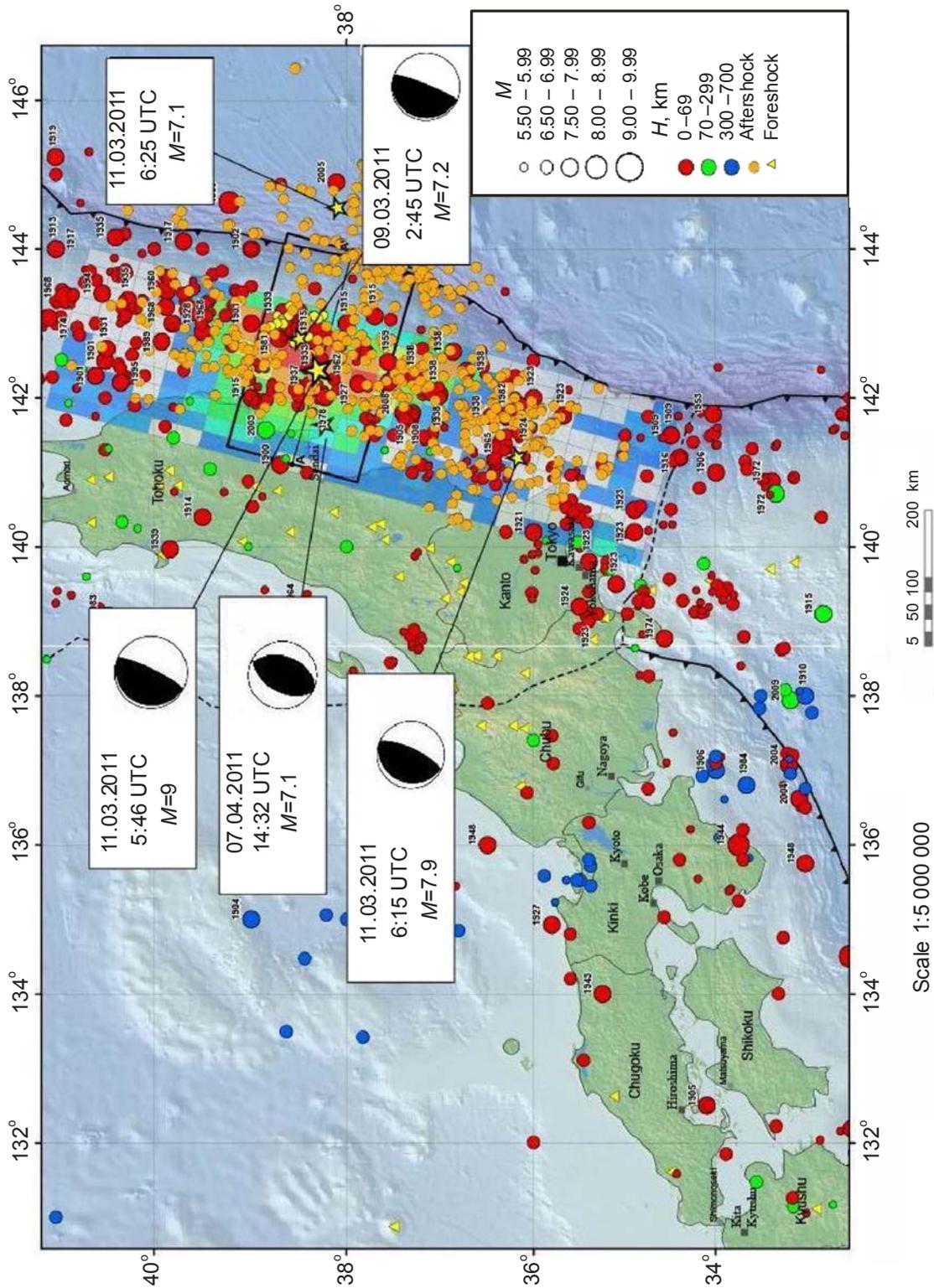


Рис. 3. Эпицентры сильных землетрясений в окрестности о. Хонсю начиная с 1973 г. по данным Геологической службы США <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/poster/2011/20110311.php>. Звездами отмечены главное землетрясение 11.03.2011 г. ($M=9$), два его сильных форшока, последовавших в течение часа ($M=7.9$ и $M=7.2$), форшок 09.03.2011 г. ($M=7.2$), и афтершок 07.04.2011 г. ($M=7.1$)

На рис. 3 представлены эпицентры сильных землетрясений в окрестности о. Хонсю, начиная с 1973 г. Главное землетрясение 11.03.2011 г. магнитудой $M=9.0$, отмеченное большой звездой, произошло на глубине 32 км на границе Тихоокеанской плиты, подвигающейся под Охотскую плиту со скоростью 9 см/год. В течение двух дней это землетрясение предварялось серией форшоков, начиная с 09.03.2011 г. ($M=7.2$) на глубине около 30 км на расстоянии 40 км северо-восточнее главного землетрясения и еще трех землетрясений с $M \geq 6$. В течение часа после главного землетрясения возникли два афтершока с $M=7.9$ на 400 км южнее главного землетрясения и с $M=7.1$ на 200 км восточнее. Через месяц после главного землетрясения 07.04.2011 г. на 100 км западнее произошло землетрясение с $M=7.1$. Его очаг был на большой глубине 50 км, что соответствует его положению на нижней границе ее контакта с литосферой Охотской плиты, на уровне перехода к астеносфере.

Поле напряжений в земной коре на континентальном склоне Японской островной дуги в зоне сочленения литосферных Тихоокеанской и Евразийской плит характеризуется пологим наклоном оси сжатия в сторону глубоководного желоба и круто наклоненной под дугу осью растяжения [Рогожин, 2011]. В таком поле напряжений положение обеих нодальных плоскостей в типичных решениях фокального механизма землетрясений характеризуется север–северо-восточным простиранием параллельно ориентировке глубоководного желоба и островной дуги. При этом одна из плоскостей полого падает под островную дугу, и смещение по ней представляет собой пологий надвиг континентального склона на глубоководный желоб. Она соответствует межплитовому сдвигу. Вторая, альтернативная, плоскость круто погружается в сторону океана, и подвижка по ней представляет собой взброс приокеанического крыла относительно опускающейся приостровной области. Она соответствует внутриплитовым разломам [Рогожин, 2011].

Три из этих пяти сильных землетрясений являются межплитовыми, так как их очаги расположены на границе погружающейся Тихоокеанской плиты. Землетрясение с $M=7.1$ с очагом на глубине 20 км произошло внутри Тихоокеанской плиты на ее изгибе при подходе к желобу. Также нанесены эпицентры более ранних землетрясений начиная с 1973 г., с различными глубинами очагов. Судя по стереограммам фокального механизма, в очагах главного и соседних с ним землетрясений разрыв был параллелен желобу с осью сжатия, направленной вкрест простирания желоба с небольшим наклоном вниз от горизонтального направления.

На рис. 4 приведены данные GPS для горизонтальных и вертикальных смещений восточной части о. Хонсю. Остров вытянулся по направлению к желобу к локальному очагу главного землетрясения со смещением до 4 м. Вертикальное смещение края острова достигало 2 м.

Как видно на рис. 5 горизонтальные смещения дна океана постоянно растут с приближением к океаническому желобу до 20–30 м, а опускания по мере удаления от острова сначала растут до 3–5 м, а затем сменяются протяженным поднятиями до 7–10 м вблизи желоба.

Таким образом, сейсмические и спутниковые данные указывают на то, что в соответствии с общепринятыми представлениями очаги сильных землетрясений находятся в основном на границе Тихоокеанской плиты, погружающейся в мантию под литосферную Охотскую плиту. Также Японское землетрясение четко показало, что при субдукционных землетрясениях континентальная плита надвигается на погружающуюся плиту в сторону океана. При этом Японское землетрясение выявило детали вертикальных

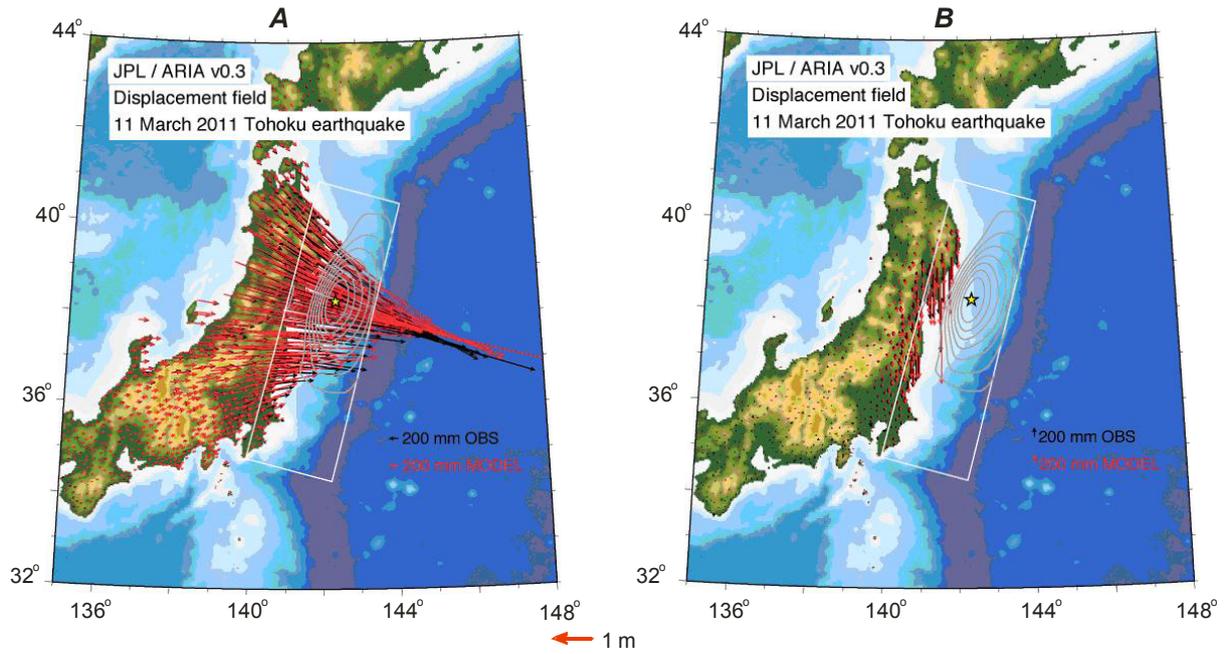


Рис. 4. Горизонтальные (А) и вертикальные (В) смещения восточной части о. Хонсю по GPS-измерениям (данные ARIA team at JPL and Caltech. http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/japan/031111_M9.0prelim_geodetic_slip.php)

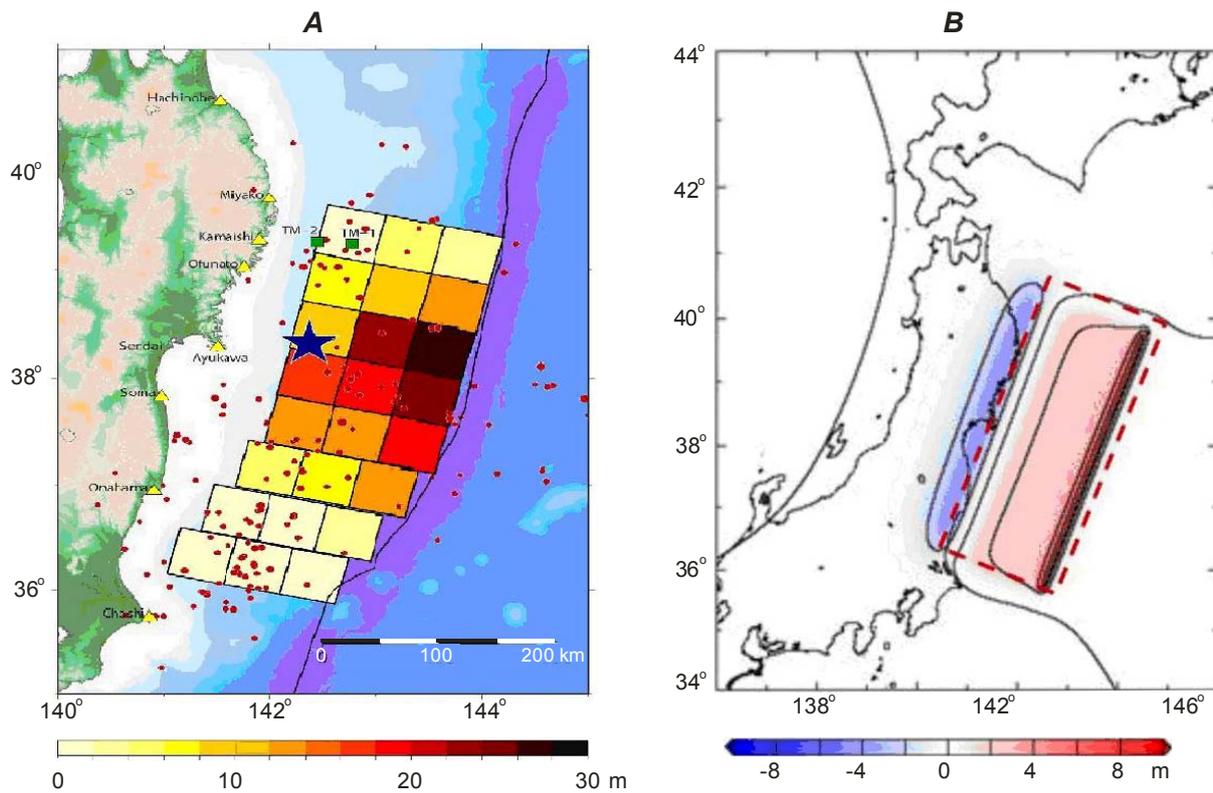


Рис. 5. Смещения дна океана между о. Хонсю и океаническим желобом. А – горизонтальные смещения по данным http://iisee.kenken.go.jp/staff/fujii/OffTohokuPacific2011/tsunami_inv.html; В – поднятия дна океана и опускания склона о. Хонсю по данным http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/eng/

смещений. При простом надвиге все дно океана вместе с островом должно подниматься, однако в результате Японского землетрясения континентальный склон вместе с прилегающей частью дна океана не поднялся, а, наоборот, опустился. В настоящей работе рассматривается модель, объясняющая указанную совокупность данных наблюдений. Уточнение представлений о процессах землетрясений может выявить некоторые детали, полезные для построения полной теории прогноза землетрясений [Keilis-Borok et al., 2009].

Строение Японского желоба и положение очагов землетрясений

На рис. 6 приведены результаты сейсмической томографии рассматриваемого региона по продольным (V_P) и поперечным (V_S) скоростям по данным [Zhao et al., 2007] вместе с очагами землетрясений. Четко видна область высоких сейсмических скоростей, выделяющая холодную литосферную Тихоокеанскую плиту. Дополнительно

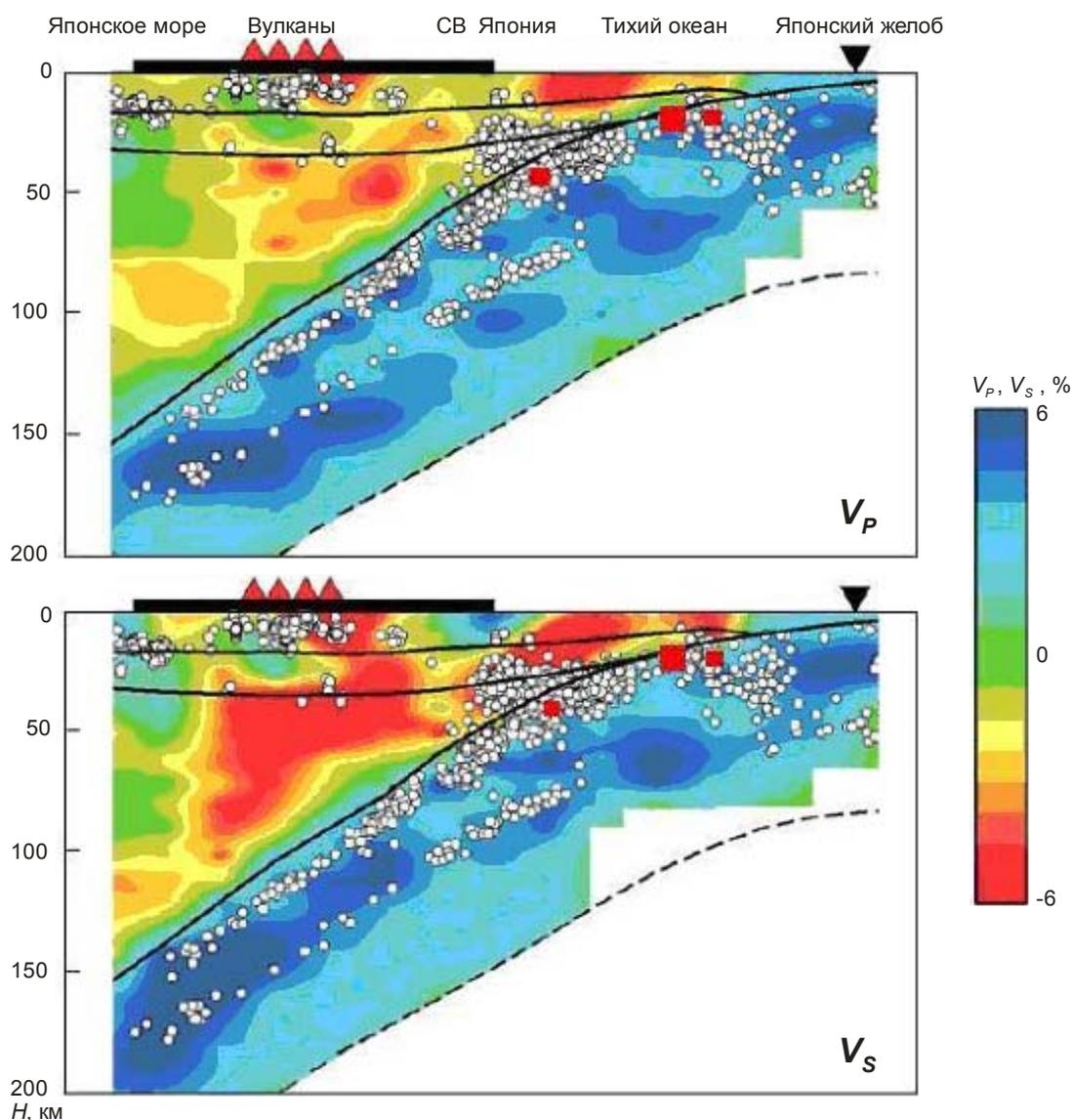


Рис. 6. Скорости продольных (V_P) и поперечных (V_S) волн по данным измерения из работы [Zhao et al., 2007]. Дополнительно красными квадратами нанесены очаги землетрясения 2011 г. (см. рис. 3)

на рис. 6 красными квадратами нанесены положения очагов землетрясений, соответствующих данным рис. 2 и 3, для главного землетрясения 11.03.2011 г., его форшока 09.03.2011 г. и афтершока 07.04.2011 г. Несмотря на возможную неточность всех измерений, их положение указывает на большую вероятность того, что все основные сильные землетрясения произошли не внутри Охотской плиты, а на ее границе с жесткой погружающейся Тихоокеанской плитой. На рис. 6 видно, что распределение очагов землетрясений имеет характерную границу на глубине 50 км. Ниже этой границы землетрясения происходят только внутри Тихоокеанской плиты. Это легко объясняется тем, что ниже этой глубины погружающаяся плита соприкасается не с литосферой, а уже с астеносферой, где не могут накапливаться большие сдвиговые напряжения. Расположение астеносферы под Японскими островами более четко видно на томографии *S*-волн, более чувствительных к температуре (и вязкости) по сравнению с *P*-волнами.

На рис. 7 показано строение региона между Японской дугой и Тихоокеанским желобом по данным о скоростях *P*-волн, полученных в Японском институте изучения эволюции Земли [Miura et al., 2001]. На рисунок дополнительно нанесены очаги основного землетрясения 11.03.2011 г. и его афтершока с соответствием с рис. 3. Из рис. 7 видно, что очаг главного землетрясения находился на границе плит, включающей океаническую кору и подкоровую литосферу. Очаг афтершока находится в Тихоокеанской плите в области ее изгиба на подходе к желобу.

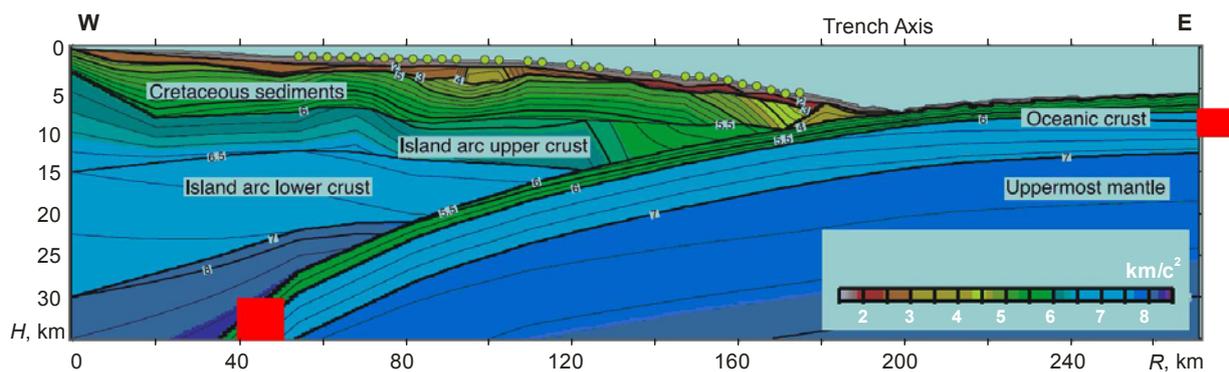


Рис. 7. Сейсмическая модель геологического строения континентального склона Японской дуги и Тихоокеанского желоба (по: [Miura et al., 2001]). Значения продольных скоростей показаны изолиниями и цветом с приведенной справа шкалой. Дополнительно на рисунок нанесены положения очага главного землетрясения и его форшока, последовавшего в течение часа

На рис. 8 дана схема предполагаемого напряженного состояния Японской дуги. Евразия давит на Охотскую плиту в сторону зоны субдукции. Поэтому ось максимального сжатия σ_1 , вероятно, направлена субгоризонтально с небольшим наклоном вниз. Соответственно ось минимального сжатия (или относительного растяжения σ_3) направлена субвертикально. Эти сжимающие напряжения вызывают сдвиговые напряжения, повернутые на 45° (или, точнее, 38° , с учетом того, что коэффициент трения меньше единицы). В отсутствие других источников напряжений подвижки вдоль обоих направлений сдвигов равновероятны. Но на Тихоокеанскую плиту действует дополнительная большая сила тяги – основная движущая сила тектоники плит. Поэтому подвижка вдоль границы погружающейся плиты должна преобладать.

Это согласуется с отмечаемыми выше положениями очагов сильных землетрясений на границе с движением Тихоокеанской плиты, направленным под малым углом α к горизонтали.

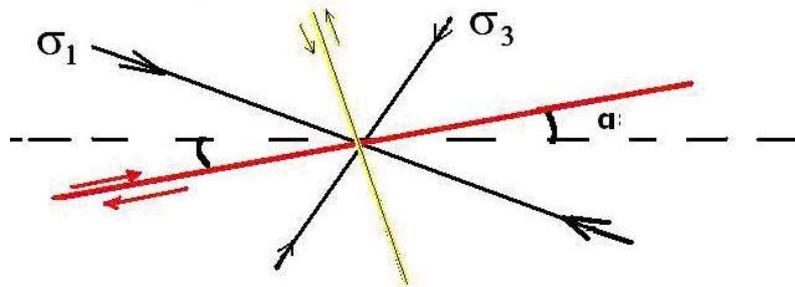


Рис. 8. Схематическое представление о напряженном состоянии в районе Японской дуги. σ_1 , σ_3 – оси напряжения. Жирная линия – надвиг острова вдоль границы погружающейся плиты. Тонкая линия – взброс приокеанического края на континентальный склон

Важным аргументом в пользу превалирования подвижек вдоль погружающейся плиты над субвертикальными подвижками является также то, что измеренные горизонтальные смещения больше вертикальных смещений.

Землетрясения в континентальной плите в первом приближении можно рассматривать как вторичные, связанные с ее деформациями, в частности с ее изгибом, что будет показано ниже. Так же с изгибом, но Тихоокеанской плиты связано внутриплитовое землетрясение за желобом, отмеченное на рис. 7.

Модель упругой островной плиты и пододвигающейся океанической плиты с подводными горами

Упругий изгиб океанической литосферной плиты у океанического желоба при нагрузке в зоне субдукции

В работе [Теркот, Шуберт, 1985] рассмотрена модель выгиба упругой плавающей на мантии пластины, к краю которой приложена сосредоточенная нагрузка F и изгибающий момент сил. Вертикальное смещение верхней границы плиты $w(x)$ как функции горизонтального расстояния x определяется формулой

$$w/w_b = 2^{1/2} \exp(\pi/4) \exp[-(\pi/4)(x/x_b)] \sin[-(\pi/4)(x/x_b)],$$

где x_b – расстояние от оси желоба до точки максимального выгиба; w/w_b – относительное смещение.

Для Марианского желоба по данным измерения значения параметры равны $x_b = 55$ км и $w_b = 0.5$ км. На рис. 9 воспроизведен рис. 3.35 из книги [Теркот, Шуберт, 1985]. Точечная кривая представляет результаты измерения батиметрического профиля Марианского желоба, сплошная линия – рассчитанная зависимость $w(x)$ по указанной выше формуле. Хорошее их согласие показывает применимость для литосферных плит представлений об упругом выгибе плит с нагрузкой на ее краю.

Из формул, приведенных в работе [Теркот, Шуберт, 1985] с указанными параметрами для Марианского желоба, следует, что ее изгибная жесткость $D = 1.4 \cdot 10^{23}$ Н·м, а эффективная толщина упругой литосферы $h = 28$ км. Сильный афтершок, произошедший в течение часа после Японского землетрясения 11.03.2011 г. за желобом на расстоянии 50–70 км (см. рис. 3), совпадает с местом максимального выгиба Тихоокеанской плиты по рассмотренной модели упругой пластины.

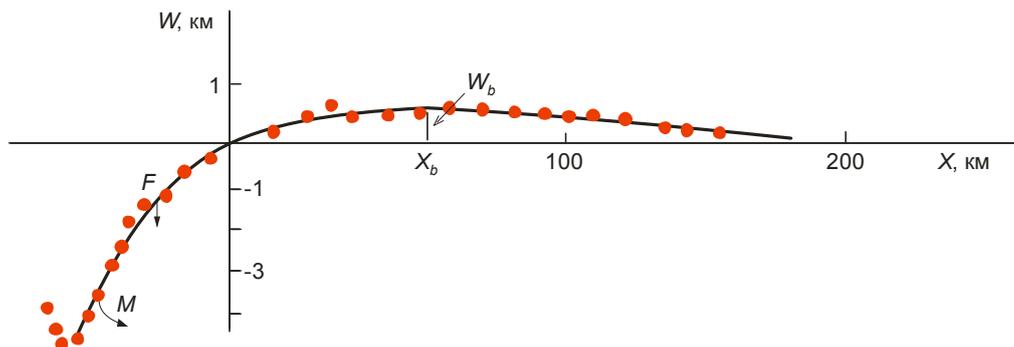


Рис. 9. Батиметрический профиль поперечного сечения Марианского желоба. Кривая – расчет по модели упругой пластины, точки – данные измерений по рис 3.35 из [Теркот, Шуберт, 1985]. Пояснения см. в тексте

В настоящей работе предполагается, что представления об упругом поведении океанических плит при нагрузке в первом приближении можно применить и к континентальной Охотской плите в районе Японских островов. Однако значения эффективных параметров должны значительно отличаться.

Упругий изгиб океанической континентальной плиты при сцеплении с погружающейся океанической плитой

Погружающаяся Тихоокеанская плита между землетрясениями сцеплена с Охотской плитой до глубины 50 км, на протяжении 250 км (см. рис. 6 и 7). На границе их сцепления на Охотскую плиту действует сила давления и сила трения F' , создающая изгибный момент (рис. 10).

Согласно модели упругой Охотской плиты в первом приближении можно считать, что большая Тихоокеанская плита, участвующая в конвективном обороте вместе с веществом верхней мантии, движется с примерно постоянной скоростью все время, и во время землетрясения и между землетрясениями. За счет силы трения F' она постоянно затягивает за собой примыкающей к ней край Охотской плиты. Величина этой силы неизвестна, но, очевидно, что она должна быть меньше силы тяги Тихоокеанской плиты F , являющейся основной движущей силой глобальных мантийных течений.

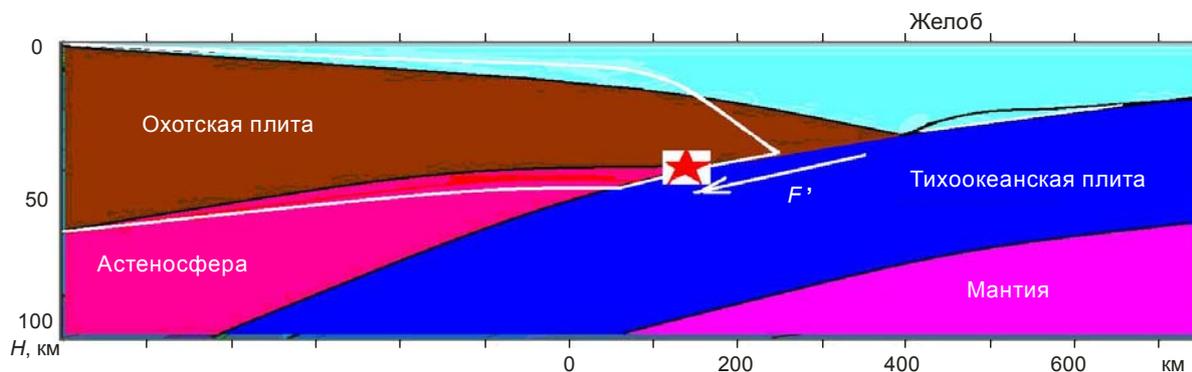


Рис. 10. Схематическое представление деформаций Охотской и Тихоокеанской плит в процессе их изгиба. Перед землетрясениями Охотская плита принимает положение, отмеченное белым контуром. Во время землетрясения сцепление между плитами уменьшается, и плиты принимают форму, контуры которых отмечены черными линиями

Охотская плита должна упруго деформироваться, с нарастающим смещением в течение всего времени до землетрясения. При этом край Охотской плиты движется по наклонной линии границы плит, смещаясь на восток и вниз. По аналогии с рассмотренным выше упругим выгибом Тихоокеанской плиты на Охотской плите также должен возникнуть выгиб вверх.

По достижении критического сдвигового напряжения на границе плит происходит разрыв, и Охотская плита выпрямляется. Ее край приподнимается вверх и надвигается на Тихоокеанскую плиту, смещаясь в сторону океана. Поскольку во время землетрясения снимается изгибный момент, то при выпрямлении выгнутая область Охотской плиты опускается.

Положение максимального выгиба плиты до землетрясения должно соответствовать положению наибольшего опускания после землетрясения. Как видно на рис. 5, оно имело место вблизи восточного побережья о. Хонсю, т.е. на расстоянии в 200 км от желоба, и достигало 4 м.

Поскольку выгиб плиты пропорционален изгибающей силе, то сравнивая величину выгиба континентальной Охотской плиты до землетрясения с величиной постоянного выгиба Тихоокеанской плиты, можно оценить силу сцепления плит, которая и является причиной землетрясения. Принимая значение выгиба континентальной Охотской плиты равным 4 м, а Тихоокеанской плиты 0.5 км, получим, что сила сцепления плит должна быть в 125 раз меньше силы тяги Тихоокеанской плиты в зоне субдукции, которая является движущей силой конвекции.

Для горизонтального смещения восточного края Охотской плиты можно сделать следующие оценки. Средняя скорость движения и погружения Тихоокеанской плиты составляет 10 см/год. Если край Охотской плиты затягивался вниз Тихоокеанской плитой в течение около 300 лет, то до землетрясения он сдвинулся вдоль границы раздела на $l = 10 \text{ см/год} \times 300 \text{ лет} \approx 30 \text{ м}$. Соответственно после землетрясения этот край надвинулся вдоль границе на эти же 30 м. Умножая это расстояние на $\sin \alpha \approx 0.2$, получим высоту поднятия края Охотской плиты в районе землетрясения $\approx 6 \text{ м}$, что сравнимо с данными измерений (см. рис. 5). Таким образом, учитывая грубость приведенных оценок, модель упругого изгиба континентальной плиты перед землетрясением и ее выпрямления после землетрясения дает не только качественное, но полуколичественное согласие со всей совокупностью имеющихся данных измерения.

Из рассматриваемой модели следует, что при землетрясении упруго выгнутая область в Тихоокеанской плите должна подниматься, так как до землетрясения сила ее сцепления с Охотской плитой уменьшала нагрузку океанической плиты, и соответственно ее упругий выгиб был меньше. В момент землетрясения сцепление плит уменьшается, нагрузка на край Тихоокеанской плиты увеличивается, следовательно, величина выгиба также увеличивается. Таким образом, процессы упругого выгиба океанической и континентальной плит должны быть в противофазе. Возможно, именно с этим процессом связан один из сильных афтершоков 11.03.2011 г., произошедший в океане за желобом в Тихоокеанской плите (см. рис. 3).

Влияние подводных гор на механизм сцепления плит в зоне субдукции

При погружении океанической плиты сила ее трения с соприкасающейся континентальной плитой обычно рассматривается в первом приближении усреднено, считая поверхности гладкими с сухим трением покоя в течении времени между землетрясениями. Однако батиметрия дна океана показывает, что на океанической плите имеются



Рис. 11. Рельеф земной континентальной поверхности и дна океана в районе Японских островов по данным карт [Pacific Ocean Floor Map 1969 by National Geographic: <http://www.maps.com/map.aspx?pid=15902>]

подводные горы и базальтовые плато. На рис. 11 приведен рельеф поверхности и неровности дна океана по данным карт [Pacific Ocean Floor Map 1969 by National Geographic: <http://www.maps.com/map.aspx?pid=15902>].

На рис. 11 видно, что поверхность погружающейся океанической плиты очень неровная. Подводные горы имеют высоты от 0.5 до 1 км, а базальтовые плато, например приближающееся к зоне субдукции поднятие Шацкого, выступают над средним уровнем дна на 2–3 км.

Очевидно, что затянувшиеся в зону сцепления плит подводные горы могут оказывать большое влияние как на величину сцепления плит, так и на механизм всего процесса землетрясений. При затягивании подводных гор в зоне субдукции их вершины могут дробиться. При погружении плиты легкая аккреционная призма может деформироваться и придти в движение. Часть осадков может затягиваться в мантию, возможно, благодаря именно подводным горам, не позволяющим плотно соприкоснуться плитам. При этом осадки и раздробленное вещество вершин гор могут служить смазкой для сцепленных плит. С другой стороны, осколки разрушающихся подводных гор и базальтовых плато при движении вместе с погружающейся плитой могут застревать и влиять на механизм землетрясений.

Затянутые в зону сцепления плит погруженные, частично разрушенные подводные горы и плато могут вдавливаться в подошву вышележащей Охотской плиты. Поэтому, кроме обычно рассматриваемого механизма очагов межплитовых землетрясений, обу-

словленных вспарыванием трещин в однородной среде благодаря сжимающему напряжению, возможен также одновременный механизм слабых землетрясений на границе плит, связанный с разрушением одиночных гор. Сильное землетрясение может быть связано с вдавливанием и зацеплением большого базальтового плато в подошву Охотской плиты. При разрушении этого зацепления возникает лавинообразное разрушение более мелких неоднородностей. При этом разрушенный материал и осадки, благодаря эффекту смазки, способствуют еще более резкому уменьшению общего сцепления плит, приводящего к вспарыванию большой площади их контакта плит. Видимо, именно зацеплением и разрушением базальтового плато объясняется непрогнозируемая более длительная подготовка и более высокая магнитуда основного землетрясения, произошедшего 11.03.2011 г.

Заключение

Рассмотрена модель Японского землетрясения, в которой основным механизмом является подвижка вдоль границы погружающейся Тихоокеанской плиты. Вещество этой плиты участвует в конвективном кругообороте значительной части мантии. Поэтому она все время погружается с почти неизменной скоростью. Движущаяся на восток Евразия прижимает Охотскую плиту к Тихоокеанской. На западе Охотская плита закреплена, а к ее восточному краю приложен момент сил сцепления с наклонно движущейся Тихоокеанской плитой. В результате островная плита упруго деформируется в течение нескольких сотен лет.

В зоне субдукции ее край постоянно опускается, а вблизи острова возникает изгиб-поднятие. Когда сдвиговое напряжение превосходит силу сцепления, возникает скольжение, и в восточный край островной плиты освобождается. В результате этот край островной плиты поднимается на 7–10 м и надвигается на Тихоокеанскую плиту, продвигаясь в сторону океана до 20–30 м. Дно океана вблизи восточной части о. Хонсю в результате выпрямления ранее изогнутой плиты, наоборот, опускается на 2 м. Основное землетрясение соответствует упругому распрямлению плиты на большой (около $500 \times 200 \text{ км}^2$) площади дна океана с возникновением мощного цунами. Изменения полей напряжения в обеих плитах вызывает внутриплитовые разломы, систему менее сильных землетрясений, форшоков и афтершоков.

Образно модель можно сравнить с обычной трещоткой. В ней погружающаяся Тихоокеанская плита вместе с подводными горами играет роль постоянно вращающегося массивного зубчатого колеса. Охотская плита соответствует закрепленной на своем западном крае пластины, которая длительно упруго изгибается, а после срыва резко выпрямляется.

Внутриплитовые землетрясения в Охотской и Тихоокеанской плитах в большой мере связаны и с их изгибами вследствие процессов затягивания края Охотской плиты погружающейся Тихоокеанской плитой.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 11-05-00256 и 11-05-00262).

Литература

- Рогожин Е.А.* Строение очага землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. ($M=9.0$) в Японии, его макро-сейсмические, сейсмологические и геодинамические проявления // Вопросы инженерной сейсмологии. 2011. Т. 38, № 1. С. 5–20.
- Теркот Д., Шуберт Дж.* Геодинамика. Геологические приложения физики сплошных сред: Пер. с англ. М.: Мир, 1985. Т. 1. 374 с.
- Трубицын В.П., Рыков В.В.* Механизм формирования наклонных зон субдукции // Физика Земли. 1997. № 6. С. 1–12.
- Трубицын В.П., Рыков В.В.* Численная модель образования окраинных морей при движении Евразии к зоне субдукции, откола Японии и ее будущего возможного объединения с Евразией // Вычислительная сейсмология. 2001. Т.32. С. 248–256.
- Трубицын В.П.* Геодинамическая модель эволюции Тихого океана // Физика Земли. 2006. № 2. С. 3–25.
- Keilis-Borok V., Gabrielov A., Soloviev A.* Geo-complexity and earthquake prediction // Encyclopedia of Complexity and Systems Science / Ed. R. Meyers. New York: Springer, 2009. P. 4178–4194, doi: 10.1007/978-0387-30440-3_246.
- Miura S., Takahashi N., Nakanishi A., Ito A., Kodaira S., Tsuru T., Kaneda Y.* Seismic velocity structure off. Miyagi fore-arc region, Japan Trench, using ocean bottom seismographic data. FREE V1 // JAMSTEC J. Deep Sea Res. 2001. V. 18. P. 145–156.
- Zhao D., Wang Z., Umino N., Hasegawa A.* Tomographic imaging outside a seismic network: Application to the northeast Japan arc // Bull. Seismol. Soc. Amer. 2007. V. 97. P. 1121–1132.

Сведения об авторе

ТРУБИЦЫН Валерий Петрович – член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, г. Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10. Тел.: (499) 254-92-35. E-mail: trub@ifz.ru; главный научный сотрудник, Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32.

THE MODEL OF JAPAN EARTHQUAKE 2011 ($M=9.0$)

V.P. Trubitsyn^{1,2}

¹ Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² International Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. Intraplate earthquakes are described by model of thrust fault in continues or in cracked media. Such model can be used also for description of interplate earthquakes, in particular for strong earthquakes in subduction zones. However new seismic, tectonic and GPS data for strong Japanese earthquake need more detailed model. Such possible model can be model of elastic island plate, coupled with dipping oceanic plate with submarine mountings. These mountings, sitting on dipping oceanic plate, hinder its motion due to coupling with asperities on the bottom of island plate. When cou-

pling ends, the bottom of plate can be cut similar to plough, and earthquake can be take place. Decoupling of distinct mountain leads to more weak interpolate earthquake, forshock and aftershock. Main great earthquake is a result of effect of basaltic plateau or greatest mountain, which leads to avalanching decoupling of all mountains on great area of coupled plates. In the first approximation we can consider, that, despite its deformation, oceanic plate moves permanent with nearly constant velocity all time both in time of earthquakes and between them. Island plate behaves similar to elastic plate, which permanently bends due to momentum of forces acting on its junction with dipping oceanic plate. After earthquake bending plate becomes straight. This leads to its thrust on oceanic plate with displacement toward ocean and uplift of its oceanic part and sinking of its island part with following tsunami.

Keywords: Islands arcs, subduction, elastic rebound, plate asperities.