

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ДО И ПОСЛЕ ЯПОНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 11 МАРТА 2011 г.

11 марта 2011 г. у восточного побережья о. Хонсю произошло мега землетрясение с моментной магнитудой  $M_w=9.0$ . Выполненные исследования позволили получить новые данные об особенностях поля тектонических напряжений действовавших перед Японским землетрясением 11 марта 2011 г. и после него. Реконструкция поля тектонических напряжений выполнялась на основе метода катакластического анализа совокупностей механизмов очагов землетрясений

**Ключевые слова:** землетрясения; земная кора; верхняя мантия; напряженное состояние.

### *Введение*

11 марта 2011 г. у восточного побережья острова Хонсю, Япония произошло мега-землетрясение с моментной магнитудой  $M_w=9.0$ . По данным Японского метеорологического агентства [<http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>], событие 11.03.2011 г. признано сильнейшим в истории страны и вошло в десятку сильнейших землетрясений за всю историю сейсмических наблюдений в мире. Землетрясение вызвало сильное цунами, высота приливной волны в ряде районов превысила десять метров. Землетрясение 11 марта и вызванное им цунами стали причиной гибели более 26 000 человек, из них 14 161 погибли, 11 536 числятся пропавшими без вести.

Японские острова лежат в зоне сочленения четырех литосферных плит: Евразийской, Филиппинской, Тихоокеанской и Охотской микроплиты. Из них две континентальные Евразийская и Охотская, и две океанические Филиппинская и Тихоокеанская. Граница между Евразийской и Охотской плитами делит Японию на две области Юго-Западную и Северо-Восточную. Области имеют разные геологические, сейсмические и тектонические особенности [Minoura et al., 2001]. Зона Японского желоба целиком находится под морем. Геология океанического дна исследовалась мало. Зона характеризуется отрицательной аномалией силы тяжести, низким значением теплового потока и высокой сейсмической активностью [Мацумота и др, 1977].

Для оценки напряженного состояния земной коры и верхней мантии в районе о. Хонсю перед японским землетрясением 11.03.2011 г. (с 16.02.1997 г. по 10.03.2011 г.) и после него с 1.01.2012 г. по 31.07.2013 г.) был применен метод катакластического анализа совокупностей механизмов очагов землетрясений (МКА). Методика реконструкции тектонических напряжений создана Ю.Л. Ребецким [Ребецкий, 2007].

### *Метод реконструкции природных напряжений*

Метод катакластического анализа совокупностей механизмов очагов землетрясений является развитием методологии изучения природных полей тектонических напряжений, включающий методы реконструкции ориентации осей главных напряжений и сеймотектонических деформаций,

по данным о совокупностях механизмов очагов землетрясений [Гущенко, 1979; Гущенко, 1996; Юнга, 1990; Angelier, 1984].

МКА позволяет в рамках единой концепции определять параметры тензоров тектонических напряжений и приращений квазипластических (трещинных) деформаций.

Исходными данными для МКА являются сейсмологические параметры механизмов очагов землетрясений (решения тензора момента центраида землетрясений), данные о величине напряжений, снимаемых в очагах сильных землетрясений, топография и мощности основных слоев земной коры (осадки, гранитный и базальтовые слои).

### *Результаты реконструкции*

Реконструкция напряженного состояния выполнялась на основе тензоров моментов центраидов – решений для землетрясений из каталогов NEIC и по данным Гарвардского университета (CMT) [<http://www.globalcmt.org>]. Обработка исходных сейсмологических данных производилась, в пределах области  $35^\circ - 42^\circ$  с.ш. и  $137^\circ - 146^\circ$  в.д. в узлах сетки  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  в латеральном направлении для интервала глубин 0-30, 30-60, 60-120 км. Реконструкцию после землетрясения 11.03.2011 г. удалось выполнить для глубин 0-30 и 30-60 км. Японское землетрясение 11 марта 2011 г. в районе о. Хонсю, позволило, рассмотреть особенности распределения напряжений и их изменения перед этим событием и после него.

По результатам реконструкции были построены проекции на горизонтальную плоскость осей погружения главных напряжений максимального девиаторного сжатия, растяжения и промежуточного главного напряжения, выполнено районирование по типу напряженного состояния, построены схемы распределения значений коэффициентов Лоде-Надаи и относительного эффективного всестороннего давления  $p^* / \tau_f$ .

В большинстве случаев проекции осей максимального девиаторного сжатия  $\sigma_3$  ориентированы почти ортогонально простиранию глубоководного желоба. Оси промежуточного главного напряжения направлены вдоль простирания о. Хонсю и глубоководного желоба.

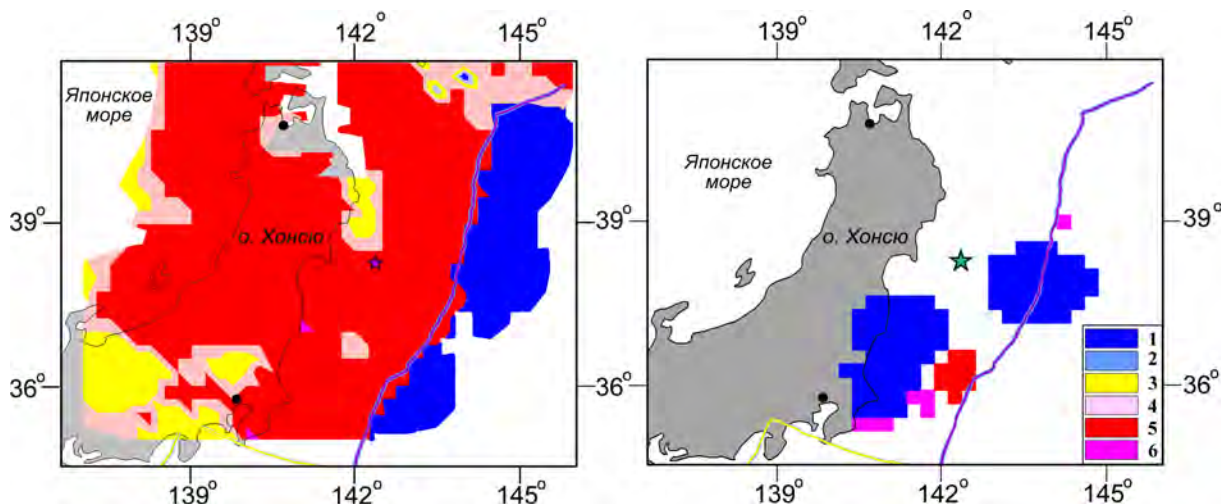
Полученная по результатам реконструкции ориентация осей главных напряжений является

типичной в субдукционных областях [Polets et al., 2010]. Подобное положение осей главных напряжений определяет наличие здесь преимущественного режима горизонтального сжатия (рис. 1, а). Для интервала глубин 0-30 км до землетрясения 11 марта к западу от оси желоба отмечен режим субгоризонтального сжатия, а к востоку от оси желоба субгоризонтального растяжения (рис. 1, а). В этом же интервале глубин в период с 1.01.2012 г. по 31.07.2013 г. отмечена резкая смена геодинамического режима теперь к западу от оси желоба наблюдаются две области с преимущественным режимом горизонтального растяжения (рис. 1, б). С глубиной 30-60 км преимущественный геодинамический режим горизонтальное сжатие.

Для исследуемой области основной вид тензора напряжений – чистый сдвиг  $-0.2 < \mu_\sigma < 0.2$ , когда алгебраически максимальное и минимальное главные девиаторные напряжения близки друг к другу по абсолютной величине и противоположны по знаку, промежуточное напряжение равно нулю.

Типичная для субдукционных зон ориентация осей главных напряжений отражается в устойчивой ориентации касательных напряжений, действующих на горизонтальных площадках с нормальми к центру Земли, в направлении от Тихоокеанской плиты к континентальной. Подобная ориентация показывает направление воздействия активных сил со стороны верхней мантии.

Область подготовки Японского землетрясения 11 марта 2011 г. (интервал глубин 0–30 км), достаточно однородна и соответствует среднему уровню напряжений. Очаг землетрясения находится в области сочленения участков коры с высоким и низким уровнем эффективного давления, в зоне максимального градиента напряжений. Здесь же присутствовала наиболее обширная область пониженного уровня эффективного давления, которая согласно работам [Ребецкий, 1999, 2007] является наиболее предпочтительной для развития хрупкого разрушения.



**Рис. 1.** Тип напряженного состояния исследуемого региона:  
а - с 16.02.1997 г. до 11.03.2011 г., б – с 1.01.2012 г. по 31.07.2013 г.

**Выводы**

1. В пределах исследуемой области наблюдается типичная для субдукционных зон ориентация осей главных напряжений. Напряженное состояние области возникновения землетрясения 11.03.2011 г. изученное по результатам тектонофизического анализа механизмов очагов землетрясений, отвечает режимам горизонтального сжатия (0-30 км). Ось океанического желоба резко разделяет верхнюю часть тектоносферы на два геодинамических режима: субгоризонтального сжатия к западу от оси желоба и субгоризонтального растяжения к востоку от оси желоба. В период с 1.01.2012 г. по 31.07.2013 г. установлена смена геодинамического режима теперь к западу от оси желоба наблюдаются две области с преимущественным режимом горизонтального растяжения (0-30 км).

2. Основной вид тензора напряжений чистый сдвиг. Рядом с эпицентром землетрясения 11.03.2011 г. отмечен участок сочетание чистого сдвига с одноосным сжатием.

3. Область подготовки землетрясения 11 марта 2011 г. в целом достаточно однородна, при этом очаг японского землетрясения находился в области сочленения участков коры с высоким и низким уровнем эффективного давления, в зоне максимального градиента напряжений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 12-05-31329 и гранта президента РФ МК-1904.2013.5.

**Литература**

Гущенко О.И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции по-

- лей тектонических напряжений // Поля напряжений в литосфере. – М.: Наука. – 1979. – С. 7–25.
- Гущенко О.И. Сейсмотектонический стресс–мониторинг литосферы (структурно–кинематический принцип и основные элементы алгоритма) // Докл. РАН. – 1996. – Т. 346, № 3. – С. 399–402.
- Юнга С.Л. Методы и результаты изучения сейсмотектонических деформаций. – М.: Наука, 1990. – 190 с.
- Мацумота Т., Китакура Н. Северо-восточная Япония. Мезозойско-кайнозойские складчатые пояса. – М.: Мир. – 1977. – С. 184-193.
- Ребецкий Ю.Л. Методы реконструкции тектонических напряжений и сейсмотектонических деформаций на основе современной теории пластичности // Докл. РАН. – 1999. – Т. 365, № 3. – С. 392 – 395.
- Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных горных массивов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 406 с.
- Angelier J. Tectonic analysis of fault slip data sets // Geophys.Res. – 1984. V. N 89. – P. 5835–5848.
- Minoura K., Imamura F., Sugawara D., Kono Y., and Iwashita, T. The 869 Jogan tsunami deposit and recurrence interval of large-scale tsunami on the Pacific coast of northeast Japan // Journal of Natural Disaster Science. – 2001. V. 23. – P. 83-88.
- Polets A.Yu., Zlobin T.K. Orientation of the principal stresses of the southern part of the Kuril-Kamchatka zone / 8 th International Conference Problems of Geocosmos - ST. Petersburg, 20-24 Sept. St. Petersburg State University, 2010. – P. 177–178.
- <http://www.globalcmt.org>  
<http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>  
<http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>

**РЕКОНСТРУКЦІЯ ПОЛЯ ТЕКТОНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ  
ДО ТА ПІСЛЯ ЗЕМЛЕТРУСУ В ЯПОНІЇ 11 БЕРЕЗНЯ 2011 Р.**

**А.Ю. Полєц, І.Н. Орлов, Д.А. Сафонов**

11 березня 2011 р. біля східного узбережжя о.Хонсю відбувся мега-землетрус з моментною магнітудою  $M_w = 8.9$ . Проведені дослідження дозволили отримати нові дані про особливості поля тектонічних напружень, що діяли перед землетрусом 11 березня 2011 р. та після нього у Японії. Реконструкція поля тектонічних напружень виконувалася на основі методів катакластичного аналізу сукупностей механізмів вогнищ землетрусів.

**Ключові слова:** землетрус, земна кора, верхня мантія, напружений стан.

**RECONSTRUCTION OF THE TECTONIC STRESS FIELD  
BEFORE AND AFTER JAPANESE EARTHQUAKE OF 11.03.2011**

**A.Yu. Polets, I.N. Orlov, D.A. Safonov**

The catastrophic earthquake with magnitude  $M_w = 8.9$  was occurred near the east coast of Honshu, Japan, on March 11, 2011. The study which was carried out has allowed to obtain new data about the features of the tectonic stresses field before and after the Great Tohoku Earthquake 11.03.2011. During the work we applied The cataclastic analysis method of earthquake focal mechanism has been used.

**Key words:** earthquakes, the Earth's crust, upper mantel, stress state.