

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ В ЗОНЕ КОНТАКТА ТИХООКЕАНСКОЙ И ОХОТОМОРСКОЙ ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ

Наталья Анатольевна Бушенкова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, к.г.-м.н., старший научный сотрудник, e-mail: BushenkovaNA@ipgg.sbras.ru

Ольга Анатольевна Кучай

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник, e-mail: KuchayOA@ipgg.sbras.ru

Сейсмотектонические деформации в зоне субдукции Тихоокеанской и Охотоморской литосферных плит определены по данным о 2458 механизмах очагов землетрясений за период 1977–2019 гг. Показаны особенности деформирования среды по разным глубинным слоям. Выявлена однородность поля деформаций в диапазоне глубин 1-70 км и неоднородность поля деформаций для глубоких частей (105-200, 200-400 и 400-700 км) погружающейся плиты. Одной из причин изменения поля деформаций является влияние восходящих и, особенно, нисходящих течений теплогравитационной конвекция в подлитосферной части верхней мантии, в частности, влияние структуры конвекции на геометрию субдуцирующей части плиты.

Ключевые слова: механизмы очагов землетрясений, Тихоокеанская литосферная плита, сейсмичность зон конвергентных границ

SEISMOTECTONIC DEFORMATIONS IN THE PACIFIC AND OKHOTSK LITHOSPHERIC PLATES CONTACT ZONE

Natalia A. Bushenkova

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptuyuga Ave., PhD, Senior Researcher, e-mail: KuchayOA@ipgg.sbras.ru

Olga A. Kuchay

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptuyuga Ave., PhD, Senior Researcher, e-mail: KuchayOA@ipgg.sbras.ru

The seismotectonic deformations were determined in the Pacific and Okhotsk (Eurasian) lithospheric plates subduction zone based on 2458 mechanisms of earthquake foci data for 1977-2019. The deformation features of medium in different deep layers are shown. The deformation field uniformity in the depth range of 1-70 km and the deformation field inhomogeneity for the submerged plate deep parts (105-200, 200-400 and 400-700 km) are revealed. One of the deformations field change reasons is the influence of ascending and, especially, descending currents of thermogravitational convection in the upper mantle sublithospheric part, in particular, the convection structure influence on the subducting plate geometry

Keywords: focal mechanisms, Pacific lithospheric plate, convergent boundary zones seismicity

Работа посвящена исследованию характеристик деформирования зоны конвергентных границ Тихоокеанской плиты с Охотоморской и выявлению особенностей распределения Р- и Т-осей механизмов землетрясений в зависимости от направления вектора смещения Тихоокеанской плиты.

Как известно, пограничные области литосферных плит являются сейсмически активными. По мере погружения литосферной плиты количество сейсмических событий сокращается и глубина землетрясений в разных фрагментах погружающейся плиты существенно меняется. Конвергентная граница Тихоокеанской и Охотоморской плит проходит вдоль Курило-Камчатского и Японского желобов (рис. 1). На эту зону оказывает влияние северо-западное направление движения Тихоокеанской плиты и юго-восточное – Охотоморской. Движение Тихоокеанской плиты происходит примерно вкост Курило-Камчатской зоны контакта [1]. Японский желоб является продолжением Курило-Камчатского. Сегмент Тихоокеанской плиты погружается под о. Хоккайдо, где контактирует с Охотоморской плитой, и под северную часть о. Хонсю, где граничит с Евразийской плитой.

Достаточно давно известно о возникновении землетрясений сбросового типа в зонах изгиба погружающихся океанических плит [2]. Ранее было показано, что при крутом погружении сегмента литосферной плиты в области ее изгиба в очагах возникают сбросовые типы смещения. При уменьшении угла падения слэба сбросовые подвижки в очагах отсутствуют [3].

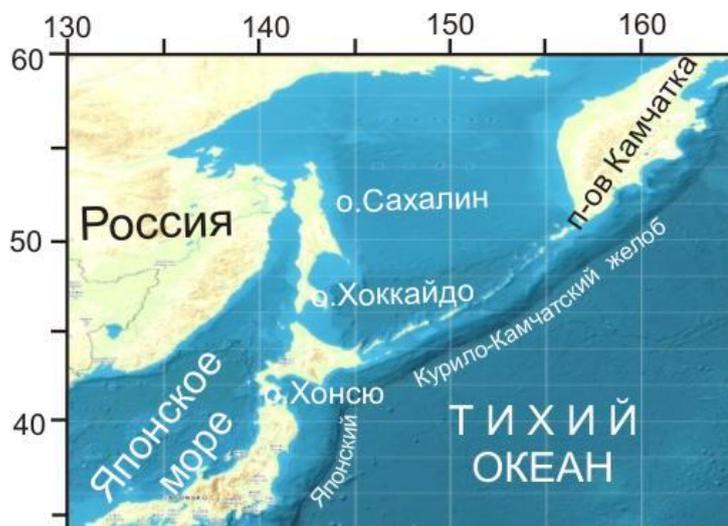


Рис. 1 Зоны конвергентных границ Тихоокеанской плиты с Охотоморской, расположение желобов в зоне контактов

Для анализа распределения типов подвижек в очагах использованы землетрясения с M_w 4.7-8.0 за период 1977- 2019 гг. из каталогов Международного сейсмологического центра (ISC) [<http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/fmechanisms>]. Полученные материалы разделены на два типа по характеру смещения в очагах. Первый тип - землетрясения с надвиговой и сдвиго-надвиговой подвижками в очагах, второй – со сбросовыми и сдвиго-сбросовыми. Надвиговые и

сдвиго-надвиговые подвижки характеризуются близгоризонтальным расположением осей сжатия при изменении направлений осей растяжения, соответственно, от вертикального до близгоризонтального. Сбросовые и сдвиго-сбросовые подвижки имеют близгоризонтальные оси растяжения, а оси сжатия меняют свои направления от близвертикального до близгоризонтального.

Для выявления особенностей погружения субдуцирующей Тихоокеанской плиты по данным каталогов ISC за период с 1973 по 2019 гг. через Курило-Камчатский и Японский глубоководные желоба построены профили распределения землетрясений ($M \geq 4$) по глубине, в среднем через два градуса.

Угол погружения литосферной плиты в районе Курило-Камчатского желоба меняется незначительно, что согласуется с данными из работы [4]. В районе Японского желоба угол погружения оказывается более пологим и приобретает более крутое положение лишь в южной части. Анализ имеющихся данных показал, что несмотря на значительные изменения углов наклона погружающихся фрагментов Тихоокеанской плиты в зоне субдукции механизмы очагов землетрясений, произошедших в верхней части (до 35 км) океанической плиты в области ее изгиба, являются сбросовыми.

При исследовании ориентаций осей механизмов очагов землетрясений в разных слоях погружающейся Тихоокеанской плиты Р- и Т-оси учитывались следующим образом: при надвиговых и сдвиго-надвиговых подвижках в очагах привлечены только Р-оси механизмов очагов, при сбросовых и сдвиго-сбросовых – только Т-оси. Такая выборка позволяет использовать близгоризонтальные оси Р и Т и оси со средними углами с горизонтом, оставляя в стороне ориентацию близвертикальных Р и Т, азимут которых при построении решений механизмов очагов значительно меняется при малых изменениях положения нодальных плоскостей.

Исследование показало, что азимутальная ориентация Р-осей механизмов очагов землетрясений в верхней части зоны контакта литосферных плит (1-70 км) соответствует направлению вектора смещения Тихоокеанской плиты при погружении фрагментов этой плиты к западу-северо-западу (рис. 2). Глубже 70 км происходит изменение азимутальной ориентации осей сжатия в погружающейся плите: оси занимают разные азимутальные сектора. Оси Т ведут себя аналогично осям Р. В нижнем слое каждого фрагмента Тихоокеанской плиты происходит разворот осей Р в диапазонах глубин 200-700 км. В этих слоях увеличивается число землетрясений со сбросовыми подвижками в очагах [5], а ориентации осей Т принимают разнонаправленные азимутальные направления.

Восстановление поля сейсмотектонических деформаций (СТД) осуществлялось по отобранному из каталогов ISC данным о 2458 механизмах очагов землетрясений с магнитудой M_w 4.7-8.0, произошедших в районе исследования за период 1977-2019 гг. СТД рассчитывались с использованием методики, описанной в публикациях [4, 5, 6, 7, 8], с учетом величины сейсмического момента каждого землетрясения, размера площадок осреднения в 1° и разделения сейсмоактивного слоя по интервалам глубин: 1-35, 35-70, 71-105, 105-200, 201-400 и 401-700 км. Выбор мощности слоя определялся плотностью данных о механизмах очагов

землетрясений. Расчеты компонент деформаций для ячеек осреднения осуществлялись методом скользящего окна с шагом 0.5° . В пределах каждого элементарного объема рассчитывались величины компонент в географической системе координат. При построении карт максимальных значений в каждой ячейке выбирались СТД, наибольшие по абсолютной величине из трех диагональных компонент (E_{xx} , E_{yy} , E_{zz}).

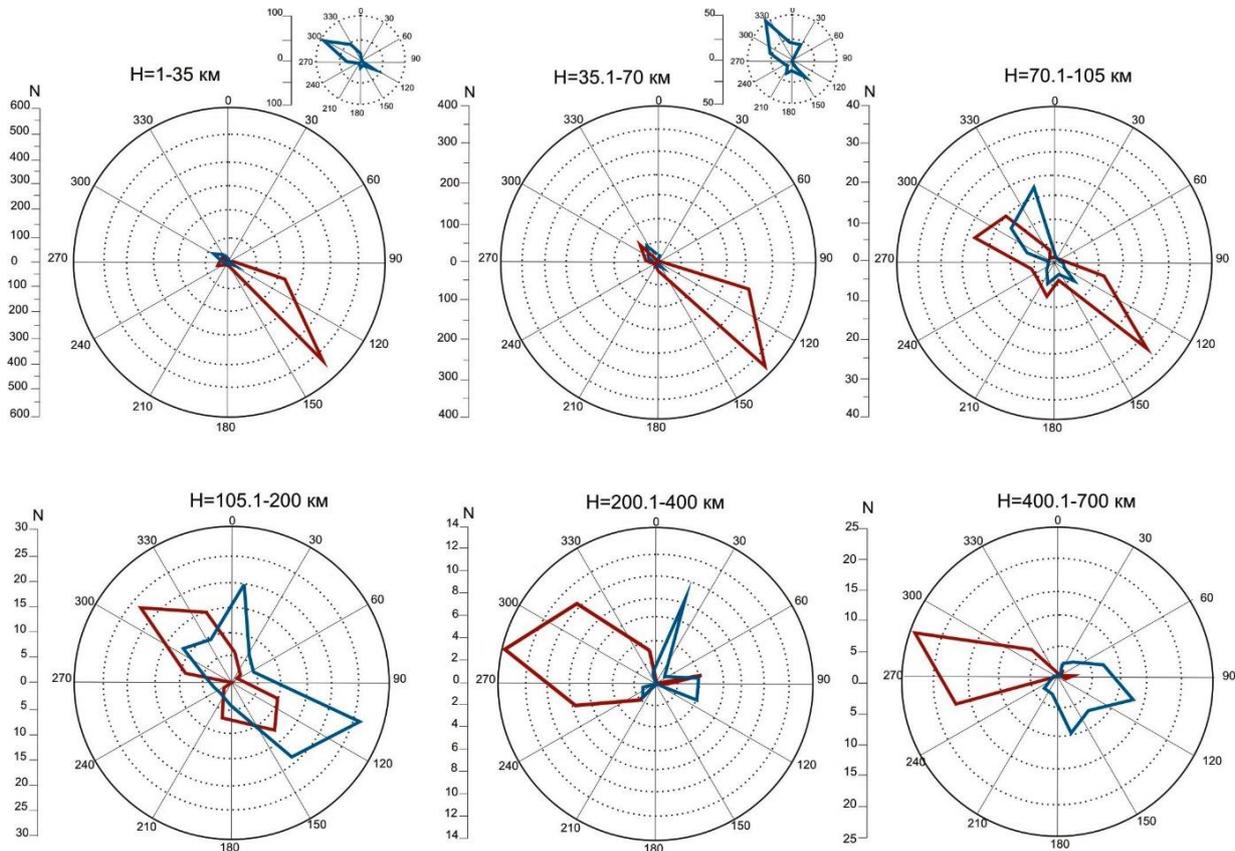


Рис. 2 Азимутальное распределение осей сжатия (Р, красный цвет) и растяжения (Т, синий цвет) в районе полуострова Камчатка, островов Хоккайдо и Курильских. Ориентация Р- и Т-осей построена по механизмам очагов землетрясений для нижней полусферы. На врезке дополнительно показано распределение осей растяжения

На основе данных о механизмах очагов землетрясений выполнен расчет СТД и выявлено, что поля широтной (E_{xx}) и вертикальной (E_{zz}) компонент деформаций, более однородные для глубин 1-70 км, характеризуются преимущественно широтным укорочением и вертикальным удлинением при чередовании областей удлинения и укорочения в поле меридиональной (E_{yy}) компоненты, в то время как для слоя 70-105 км объемы горных масс приобретают преимущественно меридиональное удлинение (рис. 3). Картина СТД резко меняется для глубоких (105-200, 200-400 и 400-700 км) частей погружающейся плиты,

наблюдаются неоднородные поля деформаций E_{xx} , E_{yy} и E_{zz} , с перемежающимися участками удлинений и укорочений.

Из трех диагональных компонент (E_{xx} , E_{yy} , E_{zz}) для верхнего диапазона глубин (1-70 км) наибольшие площади занимают области с максимальными значениями вертикального удлинения. Глубже 70 км для всей рассматриваемой территории наблюдается мозаичная картина, где происходит чередование объемов с максимальными значениями по компонентам E_{xx} , E_{yy} и E_{zz} .

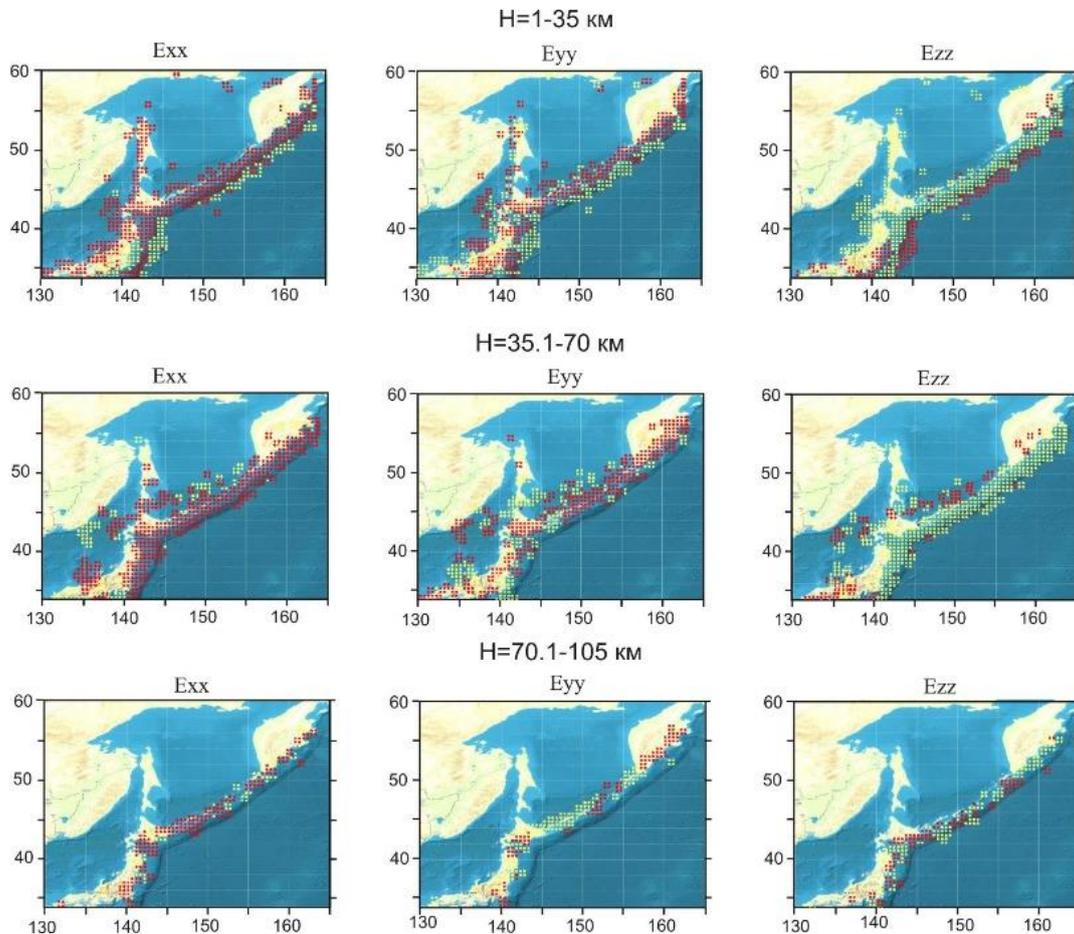


Рис. 3 Поле широтной (E_{xx}), меридиональной (E_{yy}) и вертикальной (E_{zz}) компонент СТД по данным механизмов очагов землетрясений ($M > 4.7$), зарегистрированных в 1976-2019 гг. в различных диапазонах глубин. Красными квадратами показаны области укорочения, зелеными – удлинения в соответствующих направлениях

Особенности распределения зон сейсмоактивности в погружающемся фрагменте плиты и смена типа землетрясений с глубиной, мы полагаем, связаны с изменениями геометрии слэба под влиянием мантийных процессов. Наличие областей перегиба слэба вкост его простираения на глубинах свыше 70 км обычно интерпретируют наличием зон фазовых переходов и вещественным составом субдуцирующей океанической плиты, сформированным на этапе ее созревания

и по разному реагирующим на повышение температуры (высвобождение воды, дегазация, частичное плавление и т.д.). Мы предлагаем добавить к причинам появления этих неоднородностей еще одну, которая может оказаться катализатором всех вышеперечисленных. В предыдущих работах мы исследовали взаимосвязь сейсмических характеристик в литосфере и процессов теплогравитационной конвекции в подлитосферной части верхней мантии. В результате мы обнаружили заметное влияние восходящих и, особенно, нисходящих течений конвекции на направленность главных осей СТД в очагах зарегистрированных землетрясений, отражающееся и в других геолого-геофизических характеристиках литосферы [9, 10, 11]. На рис. 4 мы представляем схему влияния структуры конвекции на геометрию субдуцирующей части плиты.

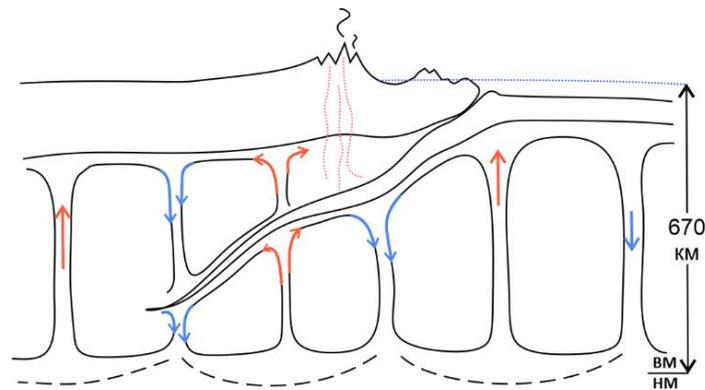


Рис. 4 Влияние структуры конвекции в верхней мантии на геометрию слэба (вертикальный срез вкрест субдукции), авторская схема. Черным пунктиром отмечены отдельные ячейки конвекции с восходящим потоком в центре и нисходящим по периферии ячейки

В местах контакта с восходящим потоком, вероятно, присутствует локальный нагрев слэба и повышение его пластичности (следовательно, уменьшение количества очагов землетрясений в самом слэбе с увеличением сейсмичности над ним за счет продвижения высвободившихся флюидов), локальное поднятие слэба и уменьшение угла его погружения. Поскольку восходящий поток конвективной ячейки находится в ее центре, что в горизонтальной проекции имеет локальное проявление, то в сейсмотомографических изображениях может проявляться «разрывом» в слэбе. В местах контакта с нисходящим потоком дополнительного прогрева нет, но будет накапливаться вертикальная «тянущая вниз» составляющая напряжений. Причем в горизонтальной проекции такие зоны имеют большую протяженность (это вся периферия конвективной ячейки), и вероятно, должны проявляться повышенной сейсмогенерацией с изменением направленности осей тензора СТД и сменой типов землетрясений на разных участках слэба.

Исследование выполнено при поддержке проектов ФНИ №№ 0331-2019-0006 и 0331-2019-0010

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Steblou G.M., Vasilenko N.F., Prytkov A.S., Frolov D.I., Grekova T.A. Dynamics of the KurilKamchatka Subduction Zone from GPS Data // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. – 2010. – V. 46. – № 5. – С. 440–445. DOI: 10.1134/S1069351310050095.
2. Hayes, G. P., D. J. Wald, and R. L. Johnson Slab1.0: A three-dimensional model of global subduction zone geometries // *J. Geophys. Res.* – 2012. – 117. – B01302.
3. Dyadkov P.G., Kuchay O.A., Romanenko Y.M., Dzhumagaliyeva Z.S. Deformations in the Middle America Trench according to earthquake focal mechanisms and their features in the area of the 2017 Mw 8.2 Chiapas earthquake, Mexico // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2020. – 11 (2). – P. 320–333.
4. Christova C.V. Spatial distribution of the contemporary stress field in the Kurile Wadati-Benioff zone by inversion of earthquake focal mechanisms // *Journal of Geodynamics*. – 2015. – V. 8. – P. 1-17.
5. Rebetsky Yu.L., Polets A.Yu. The state of stresses of the lithosphere in Japan before the catastrophic Tohoku earthquake of 11 March 2011. // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2014. – 5 (2). – P. 469–506.
6. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность горных массивов. М.: Академкнига, 2007. 406 с.
7. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.
8. Kuchai O.A., Kozina M.E. Regional Features of Seismotectonic Deformations in East Asia Based on Earthquake Focal Mechanisms and Their Use for Geodynamic Zoning // *Russian Geology and Geophysics*. – 2015. – 10. – P. 1491-1499.
9. Chervov V.V., Chernykh G.G., Bushenkova N.A., Koulakov I.Y. Numerical modelling of 3D convection in the upper Earth mantle under lithosphere of Eurasia // *Computational technologies*. – 2014. – V. 19. – № 5. – P. 101-114.
10. Бушенкова Н.А., Кучай О.А., Червов В.В. Роль неоднородной мощности литосферы в процессах субдукции: сопоставление сейсмотомографической и термогравитационной моделей верхней мантии с характером сейсмичности и сейсмотектоническими деформациями на примере Камчатского региона и Японии // *Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Четвертая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН (г. Москва, 3-7 октября 2016 г.): Материалы докладов конференции: В 2-х т.* – 2016. – Т. 1. – С. 369-374.
11. Bushenkova N.A., Kuchay O.A., Chervov V.V. Submeridional boundary zone in Asia: seismicity, lithosphere structure, and the distribution of convection flows in the upper mantle // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2018. – V. 9 (3). – P. 1007-1023. DOI: 10.5800/GT-2018-9-3-0381.

REFERENCES

1. Steblou G.M., Vasilenko N.F., Prytkov A.S., Frolov D.I., Grekova T.A. Dynamics of the KurilKamchatka Subduction Zone from GPS Data // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. – 2010. – V. 46. – № 5. – S. 440–445. DOI: 10.1134/S1069351310050095.
2. Hayes, G. P., D. J. Wald, and R. L. Johnson Slab1.0: A three-dimensional model of global subduction zone geometries // *J. Geophys. Res.* – 2012. – 117. – B01302.
3. Dyadkov P.G., Kuchay O.A., Romanenko Y.M., Dzhumagaliyeva Z.S. Deformations in the Middle America Trench according to earthquake focal mechanisms and their features in the area of the 2017 Mw 8.2 Chiapas earthquake, Mexico // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2020. – 11(2). – 320–333.
4. Christova C.V. Spatial distribution of the contemporary stress field in the Kurile Wadati-Benioff zone by inversion of earthquake focal mechanisms // *Journal of Geodynamics*. – 2015. – V. 8. – P. 1-17.

5. Rebetsky Yu.L., Polets A.Yu. The state of stresses of the lithosphere in Japan before the catastrophic Tohoku earthquake of 11 March 2011. // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2014. – 5 (2). – P. 469–506.
6. Rebeckij Yu.L. Tektonicheskie napryazheniya i prochnost' gornyh massivov. M.: Akademiya, 2007. – 406 s.
7. Riznichenko Yu.V. Problemy sejsmologii. M.: Nauka, 1985. – 408 s.
8. Kuchai O.A., Kozina M.E. Regional Features of Seismotectonic Deformations in East Asia Based on Earthquake Focal Mechanisms and Their Use for Geodynamic Zoning // *Russian Geology and Geophysics*. – 2015. – 10. – P. 1491-1499.
9. Chervov V.V., Chernykh G.G., Bushenkova N.A., Koulakov I.Y. Numerical modelling of 3D convection in the upper Earth mantle under lithosphere of Eurasia // *Computational technologies*. – 2014. – V. 19. – № 5. – P. 101-114.
10. Bushenkova N.A., Kuchay O.A., Chervov V.V. Rol' neodnorodnoi moshnosti litosferu v protsessax subdukcii: sopostavlenie seismotomographicheskoi i termogravitacionnoi modelei verhnei mantii s harakterom seismichnosti i seismotektonicheskimi deformatciyami na primere Kamchatskogo regiona i Yaponii // *Tectonophizika i aktual'nye voprosy nauk o Zemle. Chetvertaya tektonofizicheskaya konferencia v IFZ RAN (g. Moskva, 3-7 oktyabrya 2016 g.: Materialu dokladov konferencii v 2-h t.* – 2016. – T. 1. – S. 369-374.
11. Bushenkova N.A., Kuchay O.A., Chervov V.V. Submeridional boundary zone in Asia: seismicity, lithosphere structure, and the distribution of convection flows in the upper mantle // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2018. – V. 9 (3). – P. 1007-1023. DOI: 10.5800/GT-2018-9-3-0381.

© Н. А. Бушенкова, О. А. Кучай, 2021