ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ АЗИИ В РАЗНЫХ СЛОЯХ ЗЕМНОЙ КОРЫ

О.А. Кучай

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,
e-mail: KuchayOA@ipgg.sbras.ru*

Выполнен расчет сейсмотектонических деформаций для разных глубинных уровней 1–15, 16–35 и 36–70 км по данным 1819 механизмов очагов землетрясений, произошедших в Центральной Азии ($\varphi = 25^\circ - 60^\circ$ с.ш., $\lambda = 60^\circ - 115^\circ$ в.д.) за период с 1976 г. по конец июля 2020 г. с $M > 4.7$. Ориентация главных осей тензора деформаций, восстановленная по механизмам очагов землетрясений с $M > 4.7$, совпадает на разных глубинных уровнях преимущественно субмеридиональном и северо-восточном укорочении и меняющемся удлинении от субширотного до северо-западного и близвертикального. Прослеживается согласованность ориентации главных осей укорочения и удлинения, восстановленных по сейсмологическим материалам и по опубликованным результатам расчета данных GPS наблюдений.

Центральная Азия, механизм очага землетрясения, сейсмотектонические деформации

RECONSTRUCTION OF SEISMOTECTONIC DEFORMATIONS OF ASIA IN DIFFERENT LAYERS OF THE EARTH'S CRUST

O.A. Kuchay

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia,
e-mail: KuchayOA@ipgg.sbras.ru*

The calculation of seismotectonic deformations for different depth levels 1–15, 16–35, 36–70 km was performed according to the data of 1819 mechanisms of earthquake foci that occurred in Central Asia ($\varphi = 25^\circ - 60^\circ$ N, $\lambda = 60^\circ - 115^\circ$ E) for the period from 1976 to the end of July 2020 with $M > 4.7$. The orientation of the main axes of the strain tensor reconstructed from the mechanisms of earthquake foci with $M > 4.7$ coincide at different depth levels with mainly submeridional and north-eastern shortening and varying elongation from sublatitude to north-western and near-vertical. The consistency of the orientation of the main axes of shortening and elongation reconstructed from seismological materials and from the published results of calculating GPS observations, is traced.

Central Asia, earthquake focal mechanism, seismotectonic deformation

ВВЕДЕНИЕ

В течение многих лет значительный интерес геологов и геофизиков проявляется к особенностям возникновения внутриплитных землетрясений Азии и их использования для восстановления напряженно-деформированного состояния среды. Одна из первых работ по определению напряжений юга Евразии

была предпринята в 1977 г. [Гущенко и др., 1977]. Последующие многочисленные работы этого направления [Ризниченко и др., 1982; Zoback 1992; Ребецкий, 2007; Петров и др., 2008; Ребецкий, Алексеев, 2014; Ребецкий, 2015; Бушенкова и др., 2018; Гатинский и др., 2020] показывают актуальность данного исследования. Ранее в работе [Кучай, Козина, 2015] было восстановлено поле деформаций для всего сейсмоактивного слоя Азии. В данной статье поля деформаций, рассчитанные по механизмам очагов землетрясений внутриплитных зон, рассмотрим для разных глубинных слоев и сопоставим с приповерхностными деформациями, вычисленными по данным GPS. Ранее для рассматриваемой территории такие сопоставления проводились для отдельных геодинамических зон [Gan et al., 2007; Liu et al., 2007; Зубович, Мухамедиев, 2010; Саньков, 2014; Сычева, Мансуров, 2020].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В работе выполнен расчет сейсмотектонических деформаций (СТД) по методу Ю.В. Ризниченко и Б.В. Кострова [Костров, 1975; Ризниченко, 1985] для разных глубинных уровней. Компоненты тензора деформаций, за счет остаточных явлений в очаге, определяются по известным формулам [Ризниченко, 1985]:

$$E_{lm} = \frac{1}{\mu VT} \sum_{n=1}^N M_o^{(n)} Q_{lm}^{(n)},$$

где μ – модуль сдвига, принимаемый равным 3×10^{11} дин/см², V – объем осреднения, T – период наблюдения, $M_o^{(n)}$ – величина сейсмического момента n -го землетрясения определяется по известной корреляционной зависимости [Ризниченко, 1985] и является весовым коэффициентом, $Q_{lm}^{(n)}$ – компоненты единичного тензора сейсмического момента n -го землетрясения в географической системе координат, выраженные через параметры механизма очага. Деформация тех участков, где наряду с умеренными землетрясениями возникли и сильные, определяется в основном сильными землетрясениями. Поэтому чаще всего сильные землетрясения определяют направление сейсмического течения на региональном уровне, слабые события – на локальном [Ризниченко, 1985]. В данной работе расчет СТД производился с учетом величины сейсмического момента каждого землетрясения.

Сейсмотектонические деформации были рассчитаны по данным о 1819 механизмах очагов землетрясений, произошедших в Азии ($\varphi = 25^\circ - 60^\circ$ с.ш., $\lambda = 60^\circ - 115^\circ$ в.д.) за период с 1976 г. по конец июля 2020 г. Для этого использовались события с $M=4.7-8.0$ для глубин 1–70 км, выбранные из каталогов Международного сейсмологического центра ISC [www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/fmechanisms]. В данной работе мы будем использовать каталог ISC без привлечения решений механизмов более слабых событий для того, чтобы проанализировать только общие геофизические характеристики каждой геодинамической зоны Алтая, Тянь-Шаня, Памира, Тибета, Гималаев.

При разбиении на слои учитывалась глубина очагов, полученная при определении механизмов землетрясений [www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/fmechanisms]. Эти данные по глубине иногда отличаются от глубинной координаты гипоцентра каждого сейсмического события, полученного при определении традиционным способом, принятым в сейсмологии [www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/]. Для наших исследований были рассмотрены очаги в слоях 1–15, 16–35, 36–70 км. В пределах исследуемой территории размер площадок осреднения по широте и долготе составил 2° и расчет проводился методом

скользящего окна с шагом 1° . Сейсмотектонические деформации в диапазоне глубин 1–15 км восстановлены по данным 619 механизмов очагов землетрясений, в слое 16–35 км – по данным 1044 землетрясений, в слое 36–70 км – по данным 156 очагов.

Как известно, в горных системах Центральной Азии с увеличением мощности коры увеличивается и мощность сейсмоактивного слоя. На рассматриваемой территории на Алтае, в Саянах, Тянь-Шане, в Байкальской рифтовой зоне глубины очагов землетрясений сосредоточены в интервале от 1 до 35 км, в пределах Памира и Тибета и в ряде районов Гималаев они распространяются и на большие глубины (36–70 и более км).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде всего нас интересует напряженно-деформированное состояние Алтая, Тянь-Шаня, Памира, Тибета и Гималаев. Распределения главных осей сейсмотектонических деформаций по механизмам очагов землетрясений, полученные по методике, предложенной в работах [Костров, 1975; Ризниченко, 1985], показывают достаточно сложную картину для разных геодинамических зон, вместе с тем выделяются общие черты. Так, для интересующей нас территории от 70 до 93 меридиана для Памира, Тянь-Шаня, Алтая, Гималаев и западной части Тибета ориентация главных осей укорочения для диапазона глубин 1–15 и 16–35 км характеризуется близгоризонтальным субмеридиональным направлением (рис.1).

Рис. 1. Ориентации главных осей сейсмотектонических деформаций, восстановленные по данным механизмов очагов землетрясений ($M \geq 4.7$) для диапазонов глубин 1–15, 16–35 и 36–70 км. Слева – проекции осей максимальных девиаторных деформаций удлинения, справа – максимальных девиаторных деформаций укорочения. Направление погружения осей показано стрелками. Длинные стрелки соответствуют близгоризонтальным удлинениям и укорочениям, короткие – близвертикальным

На Алтае, в слое 36–70 км, землетрясения отсутствуют, для остальной рассматриваемой территории этого диапазона глубин ориентация осей укорочения сохраняется. На территории Алтая, Тибета, Памира положение главных осей удлинения преимущественно близгоризонтальное разного направления: от широтного до северо-западного. На Тянь-Шане оси удлинения в основном близвертикальны (рис. 1), как и в Гималаях.

По рассчитанным сейсмотектоническим деформациям в каждой элементарной ячейке из трех диагональных компонент тензоров деформаций (E_{xx} , E_{yy} , E_{zz}), полученных в географической системе координат, выбирались широтная (E_{xx}) и меридиональная (E_{yy}) компоненты с максимальными значениями по модулю и на карты наносились ячейки с максимальными значениями, но с учетом знака деформации (рис. 2).

Для слоев земной коры 1–15 и 16–35 км в пределах Тянь-Шаня, Алтая и Гималаев доминируют деформации максимального меридионального укорочения (рис. 2). В северо-восточной части Тибета встречаются участки максимального меридионального укорочения и фрагментарно наблюдаются области с максимальными широтными укорочениями. Во внутренней части Памира и на большей части Тибета отмечаются максимальные широтные удлинения. Восточнее 105 меридиана территория характеризуется максимальным широтным укорочением. Объемы земной коры Байкальской рифтовой зоны испытывают либо широтные, либо меридиональные максимальные удлинения. Максимальные деформации самого глубокого слоя земной коры (36–70 км) повторяют деформации вышележащих слоев (рис. 2).

Рис. 2. Карта максимальных значений по абсолютной величине одной из горизонтальных компонент тензора сейсмотектонических деформаций в каждой ячейке для диапазонов глубин 1–15, 16–35 и 36–70 км за период 1976–июль 2020 г. Розовым цветом обозначено максимальное удлинение в широтном направлении, голубым – в меридиональном; красным – максимальное значение укорочения в широтном направлении, синим – в меридиональном

Также проанализирован характер деформирования среды в горизонтальной плоскости в соответствии с возможными комбинациями знаков компонент E_{xx} и E_{yy} по методике [Дядьков и др., 2020]. Полученная карта определяет состояние сейсмогенной среды. Удлинение в горизонтальной плоскости по обоим компонентам (положительные E_{xx} и E_{yy}) может свидетельствовать о разупрочнении блочной среды, тогда как укорочение (отрицательные E_{xx} и E_{yy}) может являться признаком ее сдвливания и консолидации.

Поле деформаций горизонтального слоя анализируемой территории в основном формируется в комбинации компонент E_{xx} и E_{yy} с разными знаками как для слоя глубин 1–15 км, так и более глубокого слоя 16–35 км (рис. 3). Отдельные фрагменты территории обладают всесторонним горизонтальным расширением, которое отмечается в Байкальской рифтовой зоне и фрагментарно на Тибете. Как отмечалось выше, такие объемы земной коры могут находиться в условиях разупрочнения блоковой среды. В обширной северо-восточной области Тибета, западной части Гималаев, на юге Памира и на локальных участках Тянь-Шаня сформированы зоны в условиях всестороннего горизонтального сжатия. Появление таких зон свидетельствует о консолидации фрагментов сейсмогенной коры.

Рис. 3. Поля горизонтальных компонент (E_{xx} и E_{yy}) в диапазоне глубин 1–15 и 16–35 км. Распределение деформаций в горизонтальной плоскости в соответствии с возможными комбинациями знаков E_{xx} и E_{yy} . Красным цветом обозначены ячейки, в которых E_{xx} и E_{yy} имеют отрицательный знак (укорочение), синим – положительный знак (удлинение), белым цветом – компоненты E_{xx} и E_{yy} с разными знаками.

Далее сравним результаты расчетов деформаций для земной коры Центральной Азии, полученные по сейсмологическим данным и по данным GPS. Такое сопоставление возможно только на качественном уровне из-за того, что главные оси сейсмотектонических деформаций рассчитываются для объемов земной коры, а по векторам смещения на пунктах GPS вычисляются оси деформаций для плоского случая. Для сравнения привлечем ориентации осей удлинения и укорочения приповерхностных частей земной коры (данные GPS), рассчитанные разными авторами для территории Азии. При сопоставлении наших результатов (рис. 1) и модели распределения деформаций по данным GPS из публикации [Зубович, Мухамедиев, 2010] соблюдается согласованность в ориентации осей укорочения и удлинения по данным обеих моделей для Тянь-Шаня и Памира. По материалам другой статьи [Сычева, Мансуров, 2020] оси укорочения в зоне перехода от Памира к Тянь-Шаню обретают несколько другое направление, в частности, северо-западное и в итоге отличаются от восстановленного субмеридионального направления, полученного в работе [Зубович, Мухамедиев, 2010]. Деформации земной коры, рассчитанные по данным GPS для Гималаев и Тибета (рис. 4) [Gan et al., 2007], показывают тенденцию к северо-восточному укорочению, которое на юго-востоке переходит в субширотное, но в нашем случае в центральной части Тибета (рис. 1) оси удлинения деформаций ближе к близвертикальным. Однако карты-схемы (рис. 2 и 3), построенные по горизонтальным компонентам E_{xx} и E_{yy} , свидетельствуют о том, что меридиональная компонента E_{yy} все-таки имеет небольшую составляющую и соответственно укорочение СВ направления присутствует. Сопоставление ориентации осей сейсмотектонических деформаций (рис. 1) и полученных в публикации [Саньков, 2014] демонстрирует согласованность в направлении осей деформаций для Алтая и Байкальской рифтовой зоны.

Рис. 4. Поле скоростей деформаций Гималаев и Тибетского плато, рассчитанное по данным GPS наблюдений [Gan et al., 2007]. Линией обозначены активные разломы

ВЫВОДЫ

В земной коре Центральной Азии ориентация главных осей тензора деформаций, восстановленная по механизмам очагов землетрясений с $M > 4.7$, на глубинных уровнях 0–15, 16–35 км и 36–70 км совпадает при преимущественно субмеридиональном и СВ укорочении и меняющемся удлинении от субширотного до северо-западного и близвертикального. При этом гипоцентры

землетрясений в горных областях располагаются, главным образом, в верхней коре, подчеркивая распространение хрупких деформаций в достаточно прочной верхней коре и пластических в нижней.

Слои земной коры 1–15 и 16–35 км Азии в горизонтальной плоскости характеризуются преимущественно деформациями максимального меридионального укорочения (рис. 2) за исключением внутренней территории Памира и большей части Тибета, где наблюдаются максимальные широтные удлинения. Объемы земной коры Байкальской рифтовой зоны испытывают либо широтные, либо меридиональные максимальные удлинения. Области восточнее 105 меридиана отмечаются максимальным широтным укорочением. Разупрочнение среды испытывают участки земной коры Тибета и Байкальской рифтовой зоны, которые находятся в условиях всестороннего горизонтального расширения. Консолидация объемов земной коры в условиях всестороннего горизонтального сжатия выявлена в северо-восточной области Тибета, западной части Гималаев на локальных участках Тянь-Шаня и Памира.

Прослеживается согласованность ориентации главных осей укорочения и удлинения, восстановленных по сейсмологическим материалам и результатам расчета по данным GPS.

Работа выполнена при поддержке ФНИ 0331-2019-0006.

Автор выражает глубокую благодарность рецензентам П.Г. Дядькову и Н.А. Бушенковой за внимательный анализ статьи и указанные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

- Бушенкова Н.А., Кучай О.А., Червов В.В.** Субмеридиональная пограничная зона в Азии: сейсмичность, структура литосферы и распределение конвективных потоков в верхней мантии // Геодинамика и тектонофизика. – 2018. – Т. 9, № 3. – С. 1007–1023, doi: 10.5800/GT-2018-9-3-0381.
- Гатинский Ю.Г., Прохорова Т.В., Рундквист Д.В.** Геодинамические режимы Центральной Азии западнее и восточнее геораздела 102–104° // Геодинамика и тектонофизика. – 2020. – Т. 11, № 2. – С. 334–351, doi: 10.5800/GT-2020-11-2-0478.
- Гущенко О.И., Степанов В.В., Сим Л.А.** Направление действия современных мегарегиональных тектонических напряжений сейсмоактивных областей юга Евразии // Доклады АН СССР. – 1977. – Т. 234, № 3. – С. 556–559.
- Дядьков П.Г., Кучай О.А., Романенко Ю.М., Джумагалиева З.С.** Деформации в Центрально-Американской зоне субдукции по данным механизмов очагов землетрясений и их особенности в районе землетрясения Чьяпас, Мексика // Геодинамика и тектонофизика. – 2020. – Т. 11, № 2. – С. 320–333, doi: 10.5800/GT-2020-11-2-0477.
- Зубович А.В., Мухамедиев Ш.А.** Метод наложенных триангуляций для вычисления градиента скорости горизонтальных движений: приложение к Центрально-Азиатской GPS-сети // Геодинамика и тектонофизика. – 2010. – Т. 1, № 2. – С. 169–185, doi: 10.5800/GT-2010-1-2-0013.
- Костров Б.В.** Механика очага тектонического землетрясения. – М.: Наука, 1975. – 174 с.
- Кучай О.А., Козина М.Е.** Региональные особенности сейсмотектонических деформаций в Восточной Азии по механизму очагов землетрясений и их использование для геодинамического районирования // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56, № 10. – С. 1891–1901, doi: 10.15372/GiG20151011.
- Лукк А.А., Юнга С.Л.** Геодинамика и напряженно-деформированное состояние литосферы Средней Азии. – Душанбе: Дониш, 1988. – 230 с.

Петров В.А., Niu A., Смирнов В.Б., Мострюков А.О., Li Z., Пономарев А.В., Jiang Z., Shen X. Поле тектонических напряжений по механизмам очагов землетрясений и современные движения земной коры по данным GPS-измерений для территории Китая // *Физика Земли*. – 2008. – № 10. – С. 101–112.

Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных массивов. – М.: Академкнига, 2007. – 406 с.

Ребецкий Ю.Л. Об особенностях внутреннего напряженного состояния коры внутриконтинентальных орогенов // *Геодинамика и тектонофизика*. – 2015. – Т. 6, № 4. – С. 437–466, doi: 10.5800/GT-2015-6-4-0189.

Ребецкий Ю.Л., Алексеев Р.С. Поле современных тектонических напряжений Средней и Юго-Восточной Азии // *Геодинамика и тектонофизика*. – 2014. – Т. 5, № 1. – С. 257–290, doi: 10.5800/GT-2014-5-1-0127.

Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. – М.: Наука, 1985. – 407 с.

Ризниченко Ю.В., Соболева О.В., Кучай О.А., Михайлова Р., Васильева О.Н. Сейсмотектоническая деформация земной коры юга Средней Азии // *Физика Земли*. – 1982. – № 10. – С. 90–102.

Саньков В.А. Современная геодинамика внутриконтинентальных областей: инструментальные и геологические оценки движений и деформаций земной коры Центральной Азии // *Геодинамика и тектонофизика*. – 2014. – Т. 5, № 1. – С. 159–182, doi: 10.5800/GT-2014-5-1-0122.

Сычева Н.А., Мансуров А.Н. Сейсмотектонические деформации литосферы Памира и прилегающих территорий // *Геодинамика и тектонофизика*. – 2020. – Т. 11, № 4. – С. 785–805, doi: 10.5800/GT-2020-11-4-0507.

Gan W., Zhang P., Shen Z.-K., Niu Z., Wang M., Wan Y., Zhou D., Cheng J. Present-day crustal motion within the Tibetan Plateau inferred from GPS measurements // *Journal of Geophysical Research*. – 2007. – Vol. 112 (B 8). – B08416, doi: 10.1029/2005JB004120.

Liu M., Yang Y., Shen Z., Wang S., Wang M., Wan Y. Active tectonics and intracontinental earthquakes in China: The kinematics and geo dynamics // Stein S., Mazzotti S. (Eds.). *Continental Intraplate Earthquakes: Science, Hazard, and Policy Issues*. – Geological Society of America, Special Paper, 2007. – Vol. 425. – P. 299–318, doi: 10.1130/2007.2425(19).

Zoback M.L. First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. – 1992. – Vol. 97 (B8). – P. 11703–11728, doi: 10.1029/92JB00132.

REFERENCES

Bushenkova N.A., Kuchay O.A., Chervov V.V. Submeridional boundary zone in Asia: seismicity, lithosphere structure, and the distribution of convective flows in the upper mantle // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2018. – Vol. 9 (3). – P. 1007–1023, doi: 10.5800/GT-2018-9-3-0381.

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. – Vol. 11 (2). – P. 320–333, doi: 10.5800/GT-2020-11-2-0477.

Gan W., Zhang P., Shen Z.-K., Niu Z., Wang M., Wan Y., Zhou D., Cheng J. Present-day crustal motion within the Tibetan Plateau inferred from GPS measurements // *Journal of Geophysical Research*. – 2007. – Vol. 112 (B 8). – B08416, doi: 10.1029/2005JB004120.

Gatinsky Yu.G., Prokhorova T.V., Rundquist D.V. Central Asian geodynamic regimes west and east 102–104° geodivider // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2020. – Vol. 11 (2). – P. 334–351, doi: 10.5800/GT-2020-11-2-0478.

- Gushchenko O.I., Stepanov V.V., Sim L.A.** Direction of action of modern megaregional tectonic stresses of seismically regions of southern Eurasia // *Doklady AN SSSR*. – 1977. – Vol. 234 (3). – P. 556–559.
- Kostrov B.V.** Mechanics of Tectonic Earthquake [in Russian]. – Nauka, Moscow, 1975. – 174 p.
- 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 // *Russ. Geol. Geophys.* – 2015. – Vol. 56 (10). – P. 1491–1499, doi: 10.1016/j.rgg.2015.09.011.
- Liu M., Yang Y., Shen Z., Wang S., Wang M., Wan Y.** Active tectonics and intracontinental earthquakes in China: The kinematics and geo dynamics // Stein S., Mazzotti S. (Eds.). *Continental Intraplate Earthquakes: Science, Hazard, and Policy Issues*. – Geological Society of America, Special Paper, 2007. – Vol. 425. – P. 299–318, doi: 10.1130/2007.2425(19).
- Lukk A.A., Yunga S.L.** Geodynamics and Stress-Strain State of the Lithosphere in Central Asia [in Russian]. – Donish, Dushanbe, 1988. – 230 p.
- Petrov V.A., Anfu N., Smirnov V.B., Mostryukov A.O., Zhixiong L., Ponomarev A.V., Zaisen J., Xuhui S.** Field of tectonic stresses from focal mechanisms of earthquakes and recent crustal movements from GPS measurements in China // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. – 2008. – Vol. 44 (10). – P. 846–855.
- Rebetsky Y.L.** Tectonic Stresses and Strength of Mountain Ranges [in Russian]. – Akademkniga, Moscow, 2007. – 406 p.
- Rebetsky Yu.L.** On the specific state of crustal stresses in intracontinental orogens // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2015. – Vol. 6 (4). – P. 437–466, doi: 10.5800/GT-2015-6-4-0189.
- Rebetsky Yu.L., Alekseev R.S.** The field of recent tectonic stresses in Central and South-Eastern Asia // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2014. – Vol. 5 (1). – P. 257–290, doi: 10.5800/GT-2014-5-1-0127.
- Riznichenko Yu.V.** Problems of Seismology [in Russian]. – Nauka, Moscow, 1985. – 408 p.
- Riznichenko Yu.V., Soboleva O.V., Kuchai O.A., Mikhailova R., Vasilyeva O.N.** Seismotectonic deformation of the Earth's crust in the south of Central Asia // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. – 1982. – Vol. 10. – P. 90–102.
- Sankov V.A.** Recent geodynamics of intracontinental areas: instrumental and geomorphological assessment of crustal movements and deformation in Central Asia // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2014. – Vol. 5 (1). – P. 159–182, doi: 10.5800/GT-2014-5-1-0122.
- Sycheva N.A., Mansurov A.N.** Seismotectonic deformation of the lithosphere in the Pamir and adjacent territories // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2020. – Vol. 11 (4). – P. 785–805, doi: 10.5800/GT-2020-11-4-0507.
- Zoback M.L.** First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. – 1992. – Vol. 97 (B8). – P. 11703–11728, doi: 10.1029/92JB00132.
- Zubovich A.V., Mukhamediev Sh.A.** A method of superimposed triangulations for calculation of velocity gradient of horizontal movements: application to the Central Asian GPS network // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2010. – Vol. 1 (2). – P. 169–185, doi: 10.5800/GT-2010-1-2-0013.

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

КУЧАЙ Ольга Анатольевна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории глубинных геофизических исследований и региональной сейсмичности полей Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Основные научные интересы: механизмы очагов землетрясений, сейсмотектонические деформации по данным механизмов очагов землетрясений.

*Статья поступила в редакцию 19 августа 2021 г.,
принята к публикации 22 сентября 2021 г.*