

**MODELS OF SEISMOTECTONIC DEFORMATIONS
OF THE EARTH'S CRUST IN THE MOST EARTHQUAKE
PRONE REGIONS OF KAZAKHSTAN
(Part III. Speeds seismotectonic vertical movements)**

A. Sydykov¹, A. B. Sadykova¹, N. N. Poleshko², G. G. Stikharnyi¹, A. J. Zhunusova¹

¹"Institute of Seismology" MES RK, Almaty, Kazakhstan,

²Institute of Geophysical Research NNC RK, Almaty, Kazakhstan

Key words: earthquake source mechanisms; parameters of seismicity; velocity models of seismotectonic deformation tensor; seismic flow of rock.

Abstract. This paper is devoted to the study of crustal deformation seismotectonic vysokoseismichnyh regions of Kazakhstan. The analysis of simulation algorithms seismotectonic crustal deformation, developed cartographic and digital models of long-term average seismicity parameters and parameters of earthquake focal mechanisms, which are created based on the velocity model tensor seismotectonic deformations study area.

УДК 550.348

**МОДЕЛИ СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ
ЗЕМНОЙ КОРЫ ВЫСОКОСЕЙСМИЧНЫХ
РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА
(Часть III. Скорости вертикальных сейсмодектонических движений)**

А. Сыдыков¹, А.Б. Садыкова¹, Н.Н. Полешко², Г. Г. Стихарная¹, А. Ж. Жунусова¹

¹ТОО «Институт сейсмологии» МОН РК, Алматы, Казахстан,

²РГП «Институт геофизических исследований», Алматы, Казахстан

Ключевые слова: механизмы очагов землетрясений; параметры сейсмичности; модели скоростей тензора сейсмодектонической деформации; сейсмическое течение горных масс.

Аннотация. Исследованы сейсмотектонические деформации земной коры высокосейсмичных регионов Казахстана. Проведен анализ алгоритмов моделирования сейсмотектонической деформации земной коры, разработаны картографические и цифровые модели параметров долговременной средней сейсмичности и параметров механизмов очагов землетрясений, на основе которых созданы модели скоростей тензора сейсмотектонических деформаций исследуемой территории.

Настоящая работа является дальнейшим продолжением исследований, проводимых авторами по изучению сейсмотектонических деформаций земной коры высокосейсмичных регионов Казахстана [1, 2], и посвящена расчетам и анализу вертикальных сейсмотектонических движений рассматриваемой территории.

Общая теория и методика расчета вертикальных сейсмотектонических движений (смещений) разработаны Ю.В. Ризниченко и изложены в работах [1-5]. При этом, при расчетах параметров сейсмотектонического течения горных масс, кроме сведений о механизмах очагов землетрясений, используются данные о долговременной средней сейсмичности [6, 7], такие как: параметр

дробности $\gamma = -d \lg \frac{N}{dK}$ – распределение $N(K)$ землетрясений по энергетической величине $K = \lg E$ (E – сейсмическая энергия); сейсмическая активность A_{10} ; величина максимальных возможных землетрясений K_{max} ; толщина сейсмоактивного слоя h ; сейсмический момент M_o , определяемый по корреляционной зависимости $\lg M_o = c_1 + c_2(K - K_o)$.

В соответствии с этой методикой скорость вертикальных движений (смещений) V_z определяется путем умножения вертикальной компоненты скорости деформации V_{zz} на величину толщины сейсмоактивного слоя h :

$$V_z = V_{zz} \cdot h = V \cdot \theta_{zz} \cdot h, \quad (1)$$

где V – скалярная часть скорости деформации при сейсмическом течении горных масс. Формула, по которой определяется V , имеет следующий вид [1, 3]:

$$V = \frac{1}{2\mu VT} \sum_{j=1}^N M_{oj} = \frac{\gamma A_{10} M_o(10) \cdot 10^{(c_2 - \gamma)(K_{max} - 10)}}{2\mu V(c_2 - \gamma)(10^{0,5\gamma} - 10^{-0,5\gamma})}, \quad (2)$$

где μ – модуль сдвига; $V = Sh$ – пространственный объем горных масс; $M_o(10) = 10^{c_1}$ – фиксированное число, величина сейсмического момента M_o при значении $K_o = 10$, которые принимаются при определении сейсмической активности A_{10} .

Вертикальная компонента единичного направляющего тензора сейсмического момента θ_{zz} в географической системе координат X, Y, Z , где – ось X направлена по параллели на восток, ось Y – по меридиану на север, ось Z – вверх, в зенит, определяется через параметры механизма очага землетрясения следующим образом:

$$\theta_{zz} = \cos^2 \varphi_T - \cos^2 \varphi_P, \quad (3)$$

где φ_P и φ_T – углы с вертикалью осей сжатия (P) и растяжения (T), α_P и α_T – азимутальные углы осей сжатия (P) и растяжения (T).

По указанной методике расчеты СТД проведены в регионах Кавказа, Вранча, в Байкальской рифовой зоне, на юге Средней Азии и на Северном Тянь-Шане [5, 8-10]. При этом необходимо отметить, что в подавляющем большинстве случаев при расчете сейсмотектонической деформации величина K_{max} считалась скоррелированной с сейсмической активностью A_{10} в соответствии с представлениями, развитыми в работе [3], где значение угла наклона графика повторяемости было принято равным $\gamma = 0,45$, а толщина сейсмоактивного слоя считалась постоянной. Таким образом, при расчете сейсмотектонической деформации фактически использовались только лишь карта A_{10} и данные по механизмам очагов землетрясений.

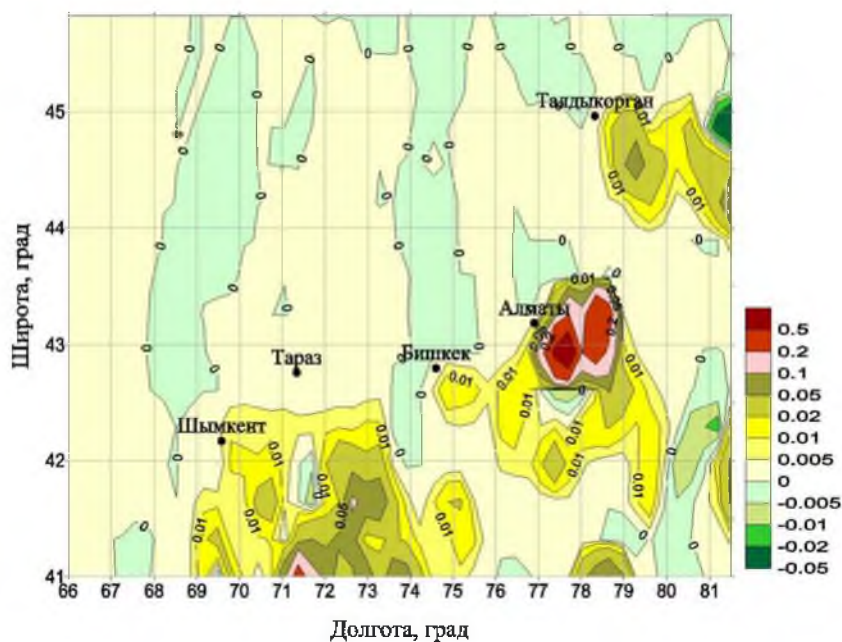
В предлагаемой работе для целей расчета СТД использовались независимые карты комплекса показателей долговременной сейсмичности. В качестве последних, привлекались сейсмическая активность – A_{10} , угол наклона графика повторяемости – γ (коэффициент дробности), глубина (мощность) сейсмоактивного слоя – h и величина максимального возможного землетрясения –

$K_{max}(M_{max})$. Сведения об использованных данных, а также подробное описание методики картирования выше упомянутых параметров сейсмичности даны в работе [1]. Там же приводятся их картографические и цифровые модели.

Материалы о механизмах очагов землетрясений (около 11 тысяч определений) использовались для расчета и создания карты вертикальной компоненты СТД (θ_{zz}), которая показывает относительное увеличение (отрицательные значения), или уменьшение (положительные значения) линейных размеров элементарного объема в соответствующем направлении. Площадка осреднения выбрана равной $20' \times 30'$, что обеспечивает оптимальную точность и детальность результатов в нашем случае [1, 2]. Если в пределы такой элементарной площадки попадало меньше трех эпицентров, площадка увеличивалась в 4 раза (до $40' \times 60'$). Расчет компонент СТД проводился по программе, алгоритм которой приведен в [10], и выполнен для всей площади планшета в узлах сетки с размерами $10' \times 15'$ [1, 2]. Карта компоненты СТД θ_{zz} , рассчитанная по формуле 3, приведена в работе [1].

Расчет скорости вертикальных движений V_z проведен по формуле 1. При этом необходимо иметь в виду, что под вертикальными сеймотектоническими движениями (смещениями), согласно [3, 4], подразумевается относительная скорость смещения кровли и подошвы сейсмоактивного слоя. Если допустить, что нижняя граница активного слоя остается неподвижной, то эта скорость, по своему физическому смыслу, совпадает со скоростью вертикальных движений земной поверхности по геодезическим, геоморфологическим и GPS данным, которые характеризуют полное тектоническое движение. Вследствие этого, величина скорости по сеймотектоническим данным составляет незначительную часть (всего лишь несколько %) скорости, фиксируемой по геоморфологическим, геодезическим и GPS данным.

Полученные результаты в виде карты приведены на рисунке, из которого видно, что северо-западная часть территории характеризуется незначительными положительными и отрицательными значениями (около 0) скорости вертикальных сеймотектонических деформаций.



Карта скорости вертикальных сеймотектонических движений

Map of speed of vertical сеймотектонических motions

Области положительных значений $V_z \geq 0,01$ мм/год приурочены к хр. Заилийский, Кунгей, Терскей, Джунгарский Алатау, а также району Таласо-Ферганской и Атойнакской сейсмоактивных зон. Максимальные значения $V_z = 0,2-0,5$ мм/год наблюдаются в пределах хр. Заилийский и Кунгей Алатау.

Приведенные данные свидетельствуют о малом вкладе энергии сеймотектонических деформаций в общую энергию тектонических деформаций.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сыдыков А., Садыкова А.Б., Полешко Н.Н., Жунусова А.Ж., Стихарная Г.Г. Модели сейсмодетектонических деформаций земной коры высокосейсмичных регионов Казахстана (Часть I. Нормальные компоненты тензора сейсмодетектонической деформации) // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – 2011. – № 3. – С. 69-79.
- [2] Сыдыков А., Садыкова А.Б., Полешко Н.Н., Жунусова А.Ж., Стихарная Г.Г. Модели сейсмодетектонических деформаций земной коры высокосейсмичных регионов Казахстана (Часть II. Сдвиговые компоненты тензора сейсмодетектонических деформаций) // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – 2013. – № 3. – С. 69-79.
- [3] Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды. – М: Наука, 1985. – 406 с.
- [4] Ризниченко Ю.В. О сейсмическом течении горных масс // В кн.: Динамика земной коры. – М.: Наука, 1965. – С. 56-63.
- [5] Полешко Н.Н. Механизмы очагов землетрясений и сейсмодетектоническое деформация земной коры Северного Тянь-Шаня и Жонгарии: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Алматы, 2009. – 21 с.
- [6] Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. – Алматы: Ғылым, 2004. – 268 с.
- [7] Садыкова А.Б. Сейсмическая опасность территории Казахстана. – Алматы: Хай Текнолоджи, 2012. – 268 с.
- [8] Беленович Т.Я. Сейсмодетектоническая деформация территории Киргизии // Известия АН СССР. Физика земли. – 1983. – С. 96-100.
- [9] Сычева Н.А. Исследование особенностей механизмов очагов землетрясений и сейсмодетектонических деформаций Северного Тянь-Шаня по данным цифровой сейсмической сети KNET: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М., 2004. – 25 с.
- [10] Соболева О.В., Бибарсова Д.Г., Вахидова З.Н. Расчет параметров сейсмодетектонической деформации. – М.: Институт физики Земли, 1981. 25 с. / Деп. в ВИНТИ. №5402-81.

REFERENCES

- [1] Sydykov A., Sadykova A.B., Poleshko N.N., Zhunusova A.Zh., Stiharnaja G.G. Modeli sejsmotektonicheskikh deformatsij zemnoj kory vysokosejsmichnyh regionov Kazahstana (Chast' I. Normal'nye komponenty tenzora sejsmotektonicheskoy deformatsii). *Izvestija HAH PK. Serija geologii i tehničeskikh nauk.* **2011.** N 3. S. 69-79. (in Russ.).
- [2] Sydykov A., Sadykova A.B., Poleshko N.N., Zhunusova A.Zh., Stiharnaja G.G. Modeli sejsmotektonicheskikh deformatsij zemnoj kory vysokosejsmichnyh regionov Kazahstana (Chast' II. Sdvigovye komponenty tenzora sejsmotektonicheskikh deformatsij). *Izvestija HAH PK. Serija geologii i tehničeskikh nauk.* **2013.** N 3. S. 69-79. (in Russ.).
- [3] Ryznichenko Ju.V. Problemy sejsmologii. Izbrannye trudy. M.: Nauka, **1985.** 406 s. (in Russ.).
- [4] Ryznichenko Ju.V. O sejsmicheskom techenii gornyh mass. *V kn.: Dinamika zemnoj kory*, M.: Nauka, **1965.** S. 56-63. (in Russ.).
- [5] Poleshko N.N. Mehanizmy ochagov zemletrjasenij i sejsmotektonicheskoe deformatsija zemnoj kory Severnogo Tjan'-Shanja i Zhongarii: Aftoref. dis. ... kand. geol.-min.nauk. Almaty, **2009.** 21 s. (in Russ.).
- [6] Sydykov A. Sejsmicheskij rezhim territorii Kazahstana. Almaty: Fylym, **2004.** 268 s. (in Russ.).
- [7] Sadykova A.B. Sejsmicheskaja opasnost' territorii Kazahstana. Almaty: Haj Teknologdzh, **2012.** 268 s. (in Russ.).
- [8] Belenovich T.Ja. Sejsmotektonicheskaja deformatsija territorii Kirgizii. *Izvestija AN SSSR. Fizika zemli.* **1983.** S. 96-100. (in Russ.).
- [9] Sycheva N.A. Issledovanie osobennostej mehanizmov ochagov zemletrjasenij i sejsmotektonicheskikh deformatsij Severnogo Tjan'-Shanja po dannym cifrovoj sejsmicheskoy seti KNET: Avtoref. dis. ... kand. fiz.-mat. nauk. M., **2004.** 25 s. (in Russ.).
- [10] Soboleva O.V., Bibarsova D.G., Vahidova Z.N. Raschet parametrov sejsmotektonicheskoy deformatsii. M.: Institut fiziki Zemli, **1981.** 25 s. *Dep. v VINITI. №5402-81.* (in Russ.).

**ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ СЕЙСМИКАЛЫҚ ҚАУІПТІЛІГІ ЖОҒАРЫ АЙМАҚТАРЫ
ЖЕР ҚЫРТЫСЫНЫҢ СЕЙСМОТЕКТОНИКАЛЫҚ ДЕФОРМАЦИЯСЫН МОДЕЛДЕУ
(III Бөлім. Тік бағытталған сейсмодетектоникалық қозғалыстардың жылдамдығы)**

А. Сыдыков¹, А. Б. Садыкова¹, Н. Н. Полешко², Ғ. Ғ. Стихарная¹, А. Ж. Жунусова¹

¹ҚР БҒМ ЖШС «Сейсмология институты», Алматы, Қазақстан,

²ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеу институты, Алматы, Қазақстан

Түйінді сөздер: жерсілкіну ошағының механизмдері; сілкінгіш параметрлері; сейсмодетектоникалық деформациясының жылдамдық тензорын моделдеу; тау жыныстарының сейсмикалық ағысы.

Аннотация. Мақала Қазақстанның сейсмодетектоникалық қауіптілігі жоғары аймақтар жер қыртысының сейсмодетектоникалық деформациясын зерттеуге арналған. Жер қыртысының сейсмодетектоникалық деформациясын моделдеу алгоритмдарына талдау жүргізілді. Зерттеліп отырған аймақтың сейсмодетектоникалық деформациясының жылдамдық тензорын моделдеу жерсілкіну ошағы механизмдері параметрлерін және ұзақмерзімді орташа сілкініс параметрлерін картографиялық және сандық моделдеу негізінде жасалған.

Поступила 31.05.2016 г.