

© Ф.А.Кадилов, А.Г.Кадыров, Н.Р.Карагезова, 2012

## КАРТЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СОТЯСАЕМОСТИ ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА ДЛЯ ЗНАЧЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ $I \geq VII$

Ф.А.Кадилов, А.Г.Кадыров, Н.Р.Карагезова

*Институт геологии НАН Азербайджана  
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А*

Для Азербайджана построена карта сейсмической сотрясаемости территории с интенсивностью  $I \geq VII$ . Определено, что для сотрясений  $I \geq VII$  баллов  $T_{\min} = 50$  годам. Таким периодом повторяемости землетрясений характеризуются районы севернее Абшеронского полуострова, район Шамаха-Исмаиллы, Шеки-Балакен, а также г.Биясувар. Остальная часть территории Азербайджана относится к области с 200-летним и более периодом повторяемости.

### Введение

Территория Азербайджана располагается в зоне активного столкновения (коллизии) двух континентов – Африканского и Евразийского (McKenzie, 1972; Зоненшайн и др., 1979; Sengor et al., 1985; Philip et al., 1989; Зоненшайн и др., 1990). Реконструкция тектоники плит указывает на то, что первичная коллизия Аравийской плиты с Евразийской длится уже в течение 10-30 миллионов лет и продолжается на современном этапе (Robertson, 2000). Значение скорости движения Аравийской плиты на север относительно Евразии с тех пор, как началось столкновение, остается более или менее постоянным и приблизительно равно 20 мм в год (McQuarrie et al., 2003; Reilinger et al., 2006). Это продолжающееся "вторжение" Аравии в Евразию обуславливает сокращение размера литосферы вдоль надвига, простирающегося в направлении восток-запад. Горизонтальное смещение литосферы из зоны столкновения плит происходит по правостороннему сдвиговому разлому (McKenzie, 1972; Sengor et al., 1985; Jackson, 1992; Reilinger et al., 2006; Kadirov et al., 2008). Эти региональные тектонические процессы вызывают землетрясения, которые исторически зарегистрированы по всей территории Кавказа. Изучение долговременной сейсмической опасности региона является весьма актуальной задачей.

Долговременную сейсмическую опасность в том или ином регионе можно характеризовать тем, как часто и какой интенсивности сейсмические сотрясения могут здесь происходить. Для количественной оценки

долговременной сейсмической опасности региона используется средняя частота повторения в данном месте сейсмических толчков  $B(I)$ , землетрясений любой данной интенсивности  $I$  (Ризниченко, 1965; Джибладзе, 1973; Ризниченко, 1985). Обратная величина  $T=1/B(I)$  – средний период повторения сотрясений данной интенсивности.

Целью данной работы являлись расчет и составление карт сейсмической сотрясаемости территории Азербайджана для землетрясений интенсивностью  $I \geq VII$  на основании сейсмических событий 1902-2012 гг.

Для расчета и построения карт сейсмической сотрясаемости необходимо в первую очередь построить графики повторяемости землетрясений, карты сейсмической активности и карты возможных максимальных землетрясений (Ризниченко, 1965; 1966; 1976; Riznichenko, 1967; 1969).

### Распределение эпицентров землетрясений

При исследовании долговременной сейсмической опасности региона были использованы известные каталоги исторических и инструментальных сведений о землетрясениях Азербайджана: «Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.»; материалы Республиканского Центра Сейсмологической Службы Национальной Академии наук Азербайджана; Геофизической службы Российской Академии наук; бюллетени Кавказа; сборники научных трудов «Землетрясения в СССР» (1964-1989); «Землетрясения Северной Евразии» (с 1992 года по настоящее вре-

мя) (Атлас землетрясений, 1962; Землетрясения в СССР, 1964-1989; Кондорская и др., 1977; Каталог, 1941; Сейсмологический бюллетень Кавказа, 1975-1989). Использована также открытая информация международных сейсмологических центров, таких как EMSC и IRIS. Из этих каталогов были выбраны землетрясения, расположенные в прямоугольнике с координатами: 44,50 в.д., 38,00 с.ш. и 51,00 в.д., 42,50 с.ш. На рис. 1 представлена карта распределения эпицентров этих землетрясений за 1902-2012 гг.

Как видно из рисунка, на карте отражено большое количество эпицентров слабых землетрясений с  $M \geq 3-4$ , за счет этого зоны распространения очагов значительно расширились. Карта эпицентров землетрясений также отражает большое количество землетрясений с  $M \geq 4-5$ , они группируются в основном в полосе от г. Балакен до г. Шамаха, в прибрежной зоне Каспийского моря, в районе г. Гянджа, на Малом Кавказе в районе Зангезура, на Талыше. Эпицентры сильных землетрясений с  $M \geq 6-7$  находятся, как правило, внутри этих групп землетрясений с магнитудой  $M \geq 3-4$  и  $M \geq 4-5$ . По распределению эпицентров землетрясений на Большом Кавказе

выделяются четыре зоны: I зона – Балакен-Загатала; II зона – Шеки-Габала; III зона – Шамаха-Исмаиллы и IV зона – Абшерон. Зоны с более высокой плотностью распределения эпицентров землетрясений (I и III) чередуются с зонами с относительно низкой плотностью (II и IV).

### Повторяемость землетрясений

Для оценки повторяемости землетрясений применяется логлинейное соотношение Гуттенберга-Рихтера. Полагая, что время возникновения землетрясений случайно, их число уменьшается экспоненциально с ростом магнитуды, а величина магнитуды не лимитирована.

На основе статистических данных строилась зависимость  $\lg N$  от  $M$ , где  $N$  – количество землетрясений с заданной магнитудой  $M$ . Далее эти данные аппроксимировались функцией:

$$\lg N = a + bM \quad (1)$$

Зависимость (1) отражает закон повторяемости магнитуд Гуттенберга-Рихтера, где  $a$  и  $b$  – региональные константы.

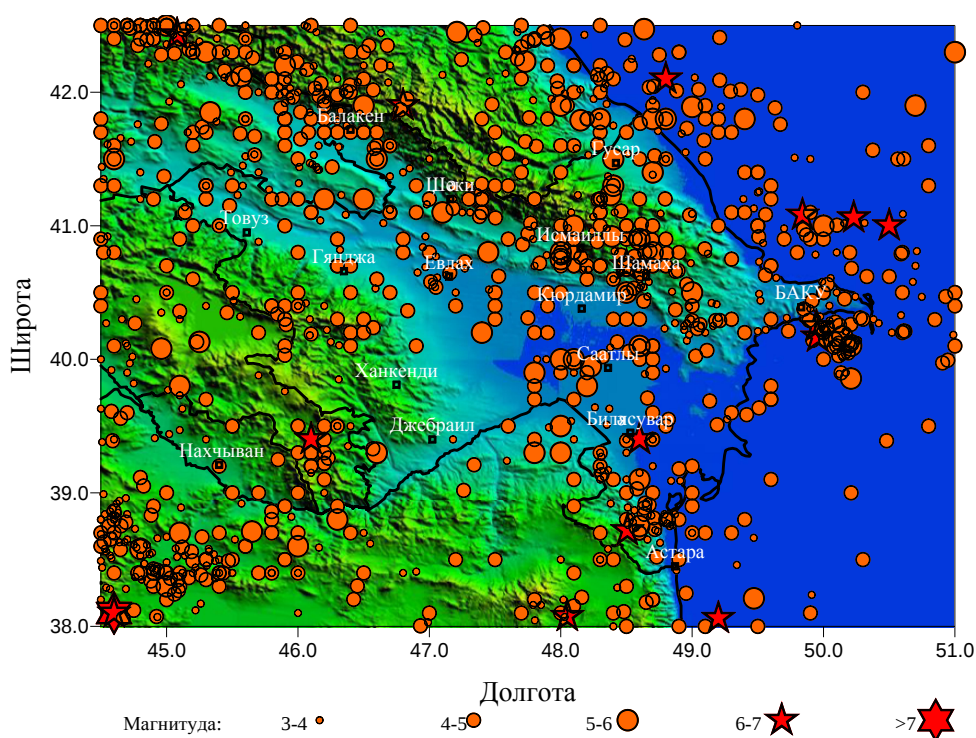


Рис. 1. Распределение эпицентров землетрясений за период 1902-2012 годы

Ниже приведены расчеты и графики функции повторяемости для исследуемой территории за период 1902-2012 гг. Количество сейсмических событий составляет  $N=2252$ , а искомое уравнение имеет вид:

$$Y = -0,78M + 6,13$$

График функции повторяемости показан на рис. 2.

Учитывая формулу Раутиана  $K=4+1,8M$ , угол наклона магнитудного графика повторяемости  $Y_M$  связан с наклоном энергетического графика равенством  $Y_M = 1,8Y_K$ . На рис. 2 для территории Азербайджана значение угла наклона графика повторяемости  $Y_M = -0,78$  соответствует значению  $Y_K = -0,43$ .

Предыдущими исследованиями было установлено: для всего Кавказа в целом  $Y_K = -0,5$ , для Восточного Кавказа и акватории Каспийского моря  $Y_K = (-0,44)-(-0,56)$ , для геоструктур низшего порядка – областей развития грязевых вулканов максимум  $Y_K = (-0,47)-(-0,69)$ . Понижение значений  $Y_M$ , полученное нами, говорит о возрастании сейсмичности.

#### Карта активности $A_{10}$ и максимально возможная магнитуда землетрясений

Для построения карты максимально возможных землетрясений используют взаимосвязь между сейсмической активностью ( $A_{10}$ ) и произошедшими максимальными землетрясениями ( $M_{max}$ ) (Ризниченко, 1968).

Для вычисления сейсмической активности ( $A$ ) исследуемая территория разделяется на сектора с размером 25x25 км и для центральной части каждого сектора вычисляется значение ( $A$ ) с использованием формулы:

$$A = \frac{N_{\Sigma}(1 - 10^{-\gamma})1000}{10^{-\gamma(K_{min} - K_0)}ST} \quad (2)$$

Здесь  $S$  – площадь сектора, используемая для расчета данного значения  $A$ ,  $N_{\Sigma}$  – количество землетрясений, произошедших на этой площади,  $\gamma$  – угол наклона графика повторяемости землетрясений (в нашем случае он равен  $-0,78$ ),  $K_0=10$ ,  $K_{min}=12$  (где  $K$  – энергетический класс землетрясений),  $T=110$  лет (период, для которого имеются данные в каталоге).

Карта сейсмической активности представлена на рис. 3.

Анализ карты сейсмической активности позволяет выделить 4 обособленные зоны с относительно высокой степенью активности ( $A_{10}=2,4-2,8$ ): Балакен-Загатала, Шамаха-Исмаиллы, прибрежная зона Каспийского моря и Абшеронский полуостров, с  $A_{10}=1,8-2$  выделяется зона Талыша. Меньшими значениями сейсмической активности  $A_{10}=1,2-1,4$  характеризуются небольшие зоны: Гянджа, Шеки-Габала, Хачмаз. Остальная территория Республики на карте сейсмической активности отмечается незначительной активностью  $A_{10} \leq 1,0$ .

Существует корреляционная формула, связывающая  $K_{max}$  и  $A$ :

$$\log(A) = \log(\alpha) + \beta(K_{max} - K_{\alpha}) \quad (3)$$

где при  $K_{\alpha}=15$  значения  $\log(\alpha)=2,84$ ,  $\beta=0,21$ .

Область, ответственная за возникновение землетрясения с энергетическим классом  $K_{max}$ , имеет радиус  $R = (10^{K_{max}}/c)$ , где  $1/c = 0,315 \cdot 10^{-10} \text{ км}^3/\text{Дж}$ .

По формуле (3), задавая различные значения  $K_{max}$ , рассчитываются значения  $A$  и  $R$ . Подставляя эти значения в формулу (2), производится расчет количества землетрясений  $N_{\Sigma}$ . Сопоставляя это значение количества землетрясений с количеством землетрясений, которые произошли на самом деле, выбирается значение  $K_{max}$  при котором они наиболее близки. Это значение  $K_{max}$  приписывается данной точке.

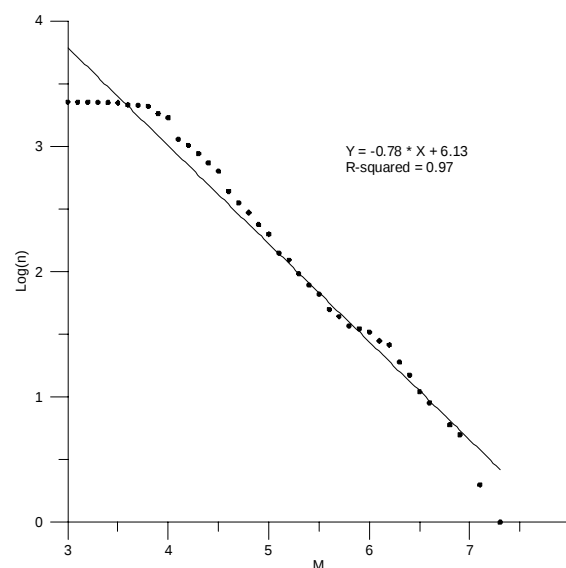
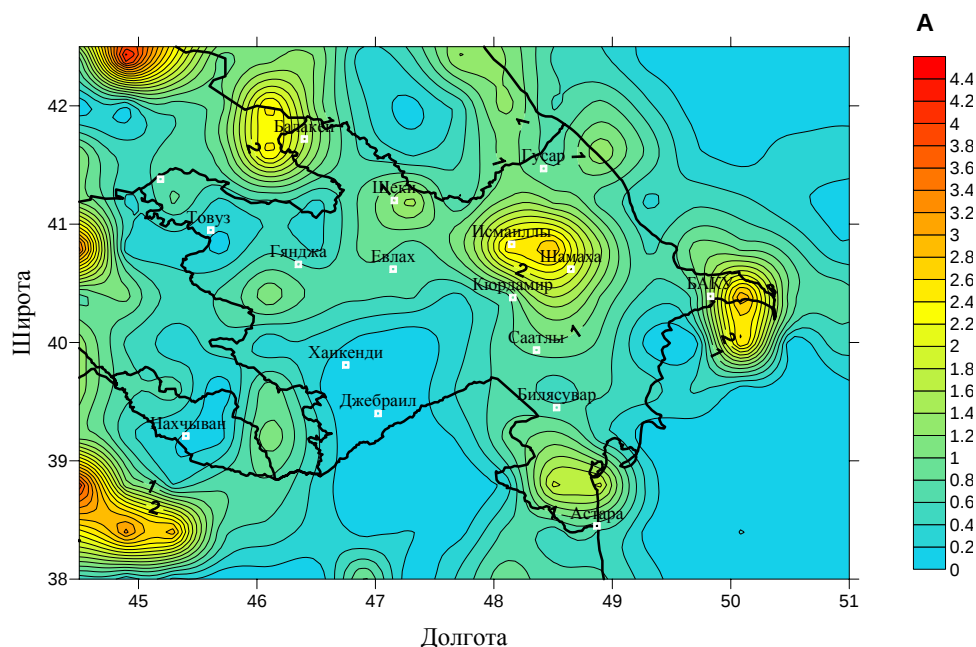


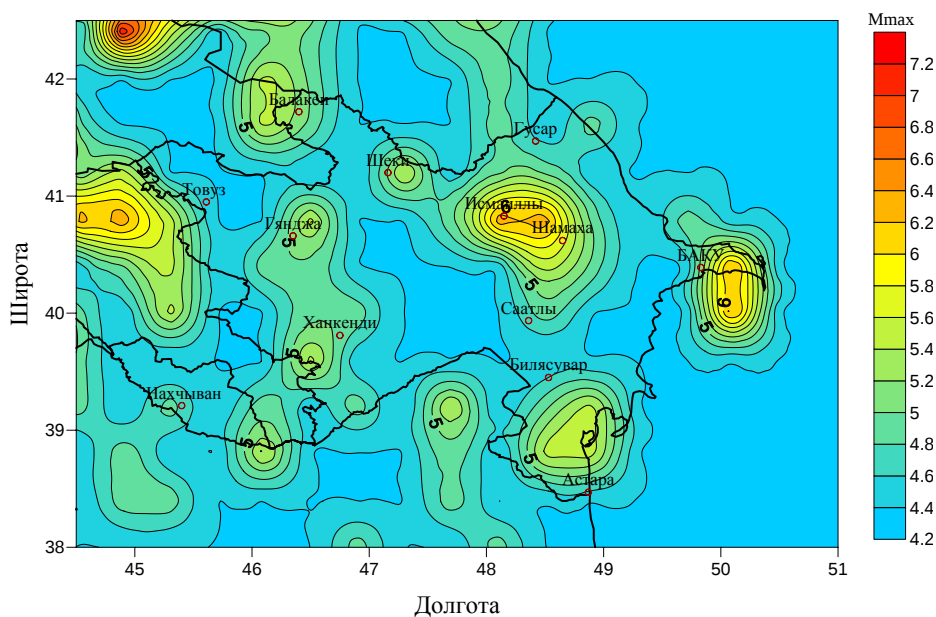
Рис. 2. График повторяемости землетрясений по магнитудам

Рис. 3. Карта сейсмической активности  $A_{10}$ 

Ниже приводится карта возможных максимальных землетрясений ( $M_{\max}$ ), построенная по сводному каталогу землетрясений с 1902 по 2012 гг. (рис.4).

Как видно из рис. 4, максимальная магнитуда наблюдается на юге Абшеронского п-ва и в Шамаха-Исмаиллинской сейсмоактивной зоне. В Шамаха-Исмаиллинском сейсмоактивном районе могут происходить землетрясения с

магнитудой  $M_{\max}=6,6$ , а на юге Абшеронского полуострова – с  $M_{\max}=6,2$ . Другие относительные максимумы расположены в районе г.Шеки ( $M_{\max}=5,5$ ), г.Лянкяран ( $M_{\max}=5,2$ ), г.Джебраил ( $M_{\max}=5,5$ ), г.Балакен ( $M_{\max}=5,3$ ). На Большом Кавказе на территории Грузии в районе Рача выделяется зона с максимальным значением магнитуды ( $M_{\max}=7,3$ ).

Рис. 4. Карта возможных максимальных землетрясений ( $M_{\max}$ ) (1902 -2012 гг.)

### Сейсмическая сотрясаемость

Сотрясаемость  $B_I$  — это средняя частота повторения сейсмических толчков заданной интенсивности  $I$  в любом исследуемом месте. Любая данная точка земной поверхности испытывает сотрясения не только от очагов, возникающих непосредственно вблизи этой точки, но и от удаленных землетрясений. Величина  $B_I$  характеризует интегральный эффект действия всей совокупности очагов и может быть выражена следующей зависимостью

$$B_{\Sigma} = \iiint_V N_{\Sigma} dx dy dz.$$

Здесь  $B_{\Sigma I}$  — суммарная частота повторения сотрясений заданной интенсивности  $I$  и выше;  $N_{\Sigma}$  — общее число очагов, вызывающих в точке приема сотрясения интенсивностью  $I$  и выше.

При подстановке конкретного выражения функции суммирования  $N_{\Sigma}$  в параметры очаговой сейсмичности можно записать:

$$B_{\Sigma I} = \sum_s A \frac{\{(10^{-\gamma K_I}) - (10^{-\gamma K_{\max}})\} 10^{\gamma K_0}}{10^{0.5\gamma} - 10^{-0.5\gamma}} \Delta S, \quad (4)$$

где  $K_I$  — величина землетрясения, обеспечивающего интенсивность  $I$  в точке, где определяется сотрясаемость, а  $A$ ,  $\gamma$  и  $K_{\max}$  — парамет-

ры очаговой сейсмичности. Суммирование ведется по окружающей исследуемую точку площади  $S$ , которая разбита на элементарные площадки  $\Delta S$ , причем учитывается эффект лишь с тех площадок, где выражение под знаком суммы больше нуля.

Как видно из соотношения (4), для расчета сотрясаемости надо иметь данные двух видов: сведения о пространственном распределении параметров сейсмического режима  $A$ ,  $\gamma$  и  $K_{\max}$  и сведения о затухании сейсмического эффекта с расстоянием для исследуемого региона.

Параметры очаговой сейсмичности территории Azerbaijan, приведенные ранее, при определении сотрясаемости использовались в следующем виде. Значения  $K_{\max}$  снимались с карты возможных максимальных землетрясений (рис. 4). Величина  $\gamma$  бралась из графика повторяемости землетрясений (рис. 2). Активность  $A$  находилась из соотношения (2).

Затухание интенсивности при расчете сотрясаемости определялось по формуле  $I = 3,5 + 1,4M - 3,51g(R)$ . По формуле (4) составлялась карта сотрясаемости для территории Azerbaijan.

На рис. 5 приведена карта сотрясаемости  $B_{\Sigma I}$  для Azerbaijan.

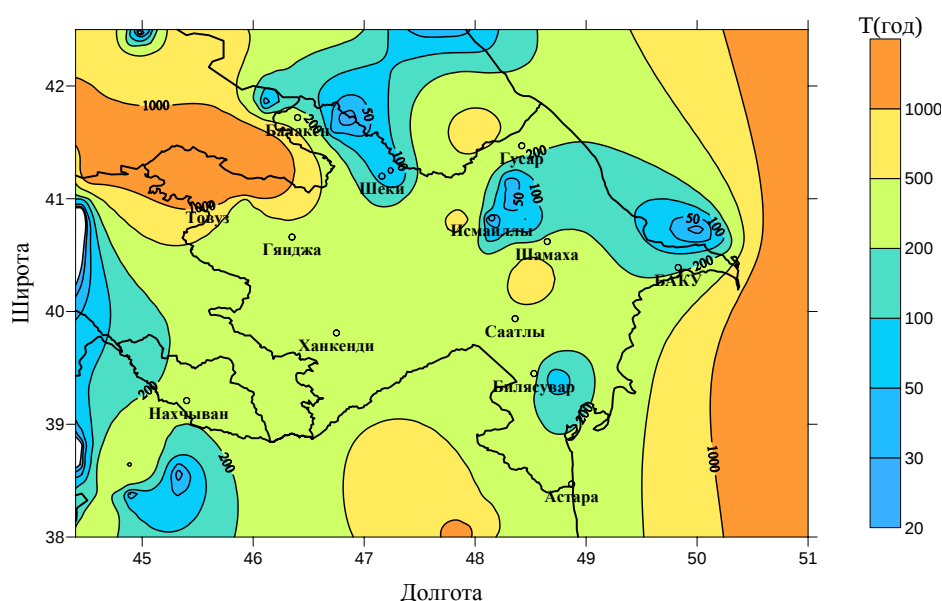


Рис. 5. Карта сейсмической сотрясаемости Azerbaijan. Изолиниями показан средний период  $T$  (в годах) повторения сотрясений интенсивностью  $I \geq VII$  баллов (1902-2012 гг.)

Изолиниями на этой карте показаны средние периоды  $T_{\Sigma_i} = 1/B_{\Sigma_i}$  повторения сотрясений интенсивностью, равной или большей I=VII баллов.

Для сотрясений I≥VII баллов  $T_{\min}=50$  годам. Таким минимальным периодом повторяемости характеризуется район севернее Абшеронского полуострова. Область 50-летнего периода повторяемости VII-балльных и выше сотрясений расположена в области Шамаха-Исмаиллы, Шеки-Балакен, а также г.Биясувар. Почти вся территория Азербайджана охватывается областью с 200-летним и более периодом повторяемости.

### Выводы

На территории Азербайджана минимальный период повторяемости сотрясений в I≥VII баллов составляет 50 лет. Таким периодом повторяемости землетрясений характеризуются районы севернее Абшеронского п-ва, Шамаха-Исмаиллы, Шеки-Балакен и г. Биясувар. Остальная часть территории Азербайджана относится к области с 200-летним и более периодом повторяемости.

**Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Украинского научно-технологического центра (УНТЦ). Грант № 4801.**

### ЛИТЕРАТУРА

- АТЛАС ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В СССР. 1962. Изд-во АН СССР. Москва.
- ДЖИБЛАДЗЕ, Э.А., РИЗНИЧЕНКО, Ю.В. 1973. Сейсмическая сотрясаемость Кавказа. *Изв. АН СССР. Физика Земли*, 1, 9-20.
- ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В СССР. 1964-1989. Наука. Москва.
- ЗОНЕНШАЙН, Л.П., САВОСТИН, Л.А. 1979. Введение в геодинамику. Недра. Москва.
- ЗОНЕНШАЙН, Л.П., КУЗМИН, М.И., НАТАПОВ, Л.М. 1990. Тектоника литосферных плит территории СССР. Недра, Москва.
- КОНДОРСКАЯ, Н.В., ШЕБАЛИН, Н.В., ХРОМЕНЕЦКАЯ, Е.А. 1977. Новый каталог сильных землетрясений в СССР с древнейших времён до 1975 года. Наука. Москва.
- КАТАЛОГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СССР (с 1908 по 1936 год включительно). 1941. Труды Сейсмологического Института. Изд-во АН СССР. Москва-Ленинград. 95, III. 78.
- РИЗНИЧЕНКО, Ю.В. 1965. От активности очагов землетрясений к сотрясаемости земной поверхности. *Изв. АН СССР. Физика Земли*, 11, 1-12.
- РИЗНИЧЕНКО, Ю.В. 1966. Расчет сотрясаемости точек земной поверхности от землетрясений в окружающей области. *Изв. АН СССР. Физика Земли*, 5, 16-32.
- РИЗНИЧЕНКО, Ю.В. 1968. Сейсмическая активность и сотрясаемость. В кн.: *Сейсмическое районирование СССР*. Наука, Москва.
- РИЗНИЧЕНКО, Ю.В., ДРУМЯ, А.В., СТЕПАНЕНКО, Н.Я. 1976. Сейсмичность и сотрясаемость Карпато-Балканского региона. Штиинца. Кишинев.
- РИЗНИЧЕНКО, Ю.В. 1985. Проблемы сейсмологии. Избранные труды. Наука. Москва.
- СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ КАВКАЗА (1975-1989). 1979-1989. Мецниереба, Тбилиси.
- JACKSON, J. 1992. Partitioning of strike-slip and convergent motion between Eurasia and Arabia in eastern Turkey, *J. Geophys. Res.*, 97, 12471-12479.
- KADIROV, F.A., MAMMADOV, S., REILINGER, R., McCLUSKY, S. 2008. Some new data on modern tectonic deformation and active faulting in Azerbaijan (according to Global Positioning System Measurements). *Proceedings. Azerbaijan National Academy of Sciences. The Sciences of Earth*, 1, 82-88.
- RIZNICHENKO, Yu.V. 1967. Geophysical principles of evaluation of the seismic danger. 9 Assembly of the ESC 1-7 Aug. 1966 in Copenhagen. Academic Forlag. Kopenhagen.
- RIZNICHENKO, Yu.V., ZACHAROVA, A.I., SEIDUZOVA, S.S. 1969. Seismic activity and shake ability of the Apenninian region. *Bollitino di Geofizika. Theorica ed Applicata*. Trieste, 11, 43-44.
- REILINGER, R., S. and 22 others. 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *J. Geophys. Res.*, B05411, doi:10.1029/2005JB004051, 2006b.
- ROBERTSON, A.H.F. 2000. Mesozoic-Tertiary tectonic evolution of a south Tethyan ocean basin and its margins in southern Turkey. In: *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*, Piper, Geol. Soc. Spec. Pub. London, 173, 97-138.
- SENGOR, A.M.C., GORUR, N., SAROGLU, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: *Strike-slip Faulting and Basin Formation*. Society of Econ. Paleont. Min. Sec. Pub., 37, 227-264.
- McKENZIE, D.P. 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 30, 239-243.
- McQUARRIE, N., STOCK, J., VERDEL, C. AND WERNICKE, B.P. 2003. Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions, *Geophys. Res. Lett.*, 30(20), 2036, doi:10.1029/2003GL017992.
- PHILIP, H., CISTERNAS, A., GVISIANI, A., GORSHKOV, A. 1989. The Caucasus: An actual example of the initial stages of continental collision, *Tectonophysics*, 161, 1-21.