ГЕОФИЗИКА

УДК 550.34

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26789

Сейсмическая опасность территории Армении: нормативные карты районирования. Предварительный вариант новой карты ОСР

В. Г. Григорян, к. ф.-м. н., Дж. К. Карапетян, к. г. н., К. С. Казарян,
к. ф.-м. н., Р. С. Саргсян, к. г. н.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии им А. Назарова НАН РА,
Республика Армения, 3115, г. Гюмри, ул. В. Саргсяна, 5,
e-mail: g. vanand@rambler. ru

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы, связанные с общим сейсмическим районированием (ОСР) территории Армении, а также хронология создания карт ОСР. Показана некоторая противоречивость составленных в разные периоды нормативных карт.

Разработаны и внедрены национальные нормы по сейсмостойкому строительству – СНРА II-2.02.94, в которых, помимо традиционных баллов, опасность выражалась через ожидаемые максимальные значения ускорений грунтов A_{max} .

На основе существующих в настоящее время новых методов и технологий по оценке и картированию сейсмической опасности (сейсмического районирования) предлагается вариант вероятностной карты общего сейсмического районирования территории Армении в масштабе 1:500000. Карта составлена на базе моделей возможных очаговых зон с оценками сейсмических потенциалов (M_{max}) основных структурных элементов и сейсмического эффекта.

Предложенный вариант карты СМР территории Армении существенно отличается от действующей нормативной карты. На ней впервые выделена зона с ожидаемыми максимальными значениями ускорения грунта – 0,5 g.

Задача дальнейших исследований состоит в рассмотрении более сложных моделей пространственно-временного распределения очагов сильных землетрясений, более объективных и приемлемых с инженерной точки зрения количественных характеристик, определяющих характер и уровень ожидаемых воздействий и методов их картирования.

Так, в рамках общей научной программы по оценке сейсмической опасности и сейсмического риска, усовершенствования методов количественной оценки параметров сейсмических воздействий в ИГИС НАН РА ведутся исследования по рассмотрению задач с использованием, кроме традиционных (смещение, скорость, ускорение), также интегральных параметров колебаний, наиболее полно характеризующих энергию воздействия.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическое районирование, очаговая зона, сейсмическое воздействие, ускорение грунта.

Для цитирования: В. Г. Григорян, Дж. К. Карапетян, К. С. Казарян, Р. С. Саргсян Сейсмическая опасность территории Армении: нормативные карты районирования. Предварительный вариант новой карты ОСР // *Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 №1. С. 71-83. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26789.

Введение: история создания нормативных карт ОСР РА

За последние десятилетия существенно возросло внимание к вопросам землетрясений и сейсмической безопасности общества. Об этом свидетельствуют не

Рис. 1. Карты сейсмического районирования Армянской ССР по обзорным картам сейсмрайонирования СССР: 1940-го года (а); 1949-го года (б); 1957-го года (в) /
 Fig. 1. Seismic zoning maps of the Armenian SSR complies according to the maps of seismic zoning of the USSR: 1940 (a); 1949 (b); 1957 (c)

только национальные программы по изучению этой проблемы, но и большие усилия и инициативы различных международных гуманитарных организаций.

Упорядоченные научно-исследовательские работы, с целью создания карт сейсмического районирования территории бывшего СССР, начались в 40-е годы. Так, согласно сведениям, приведенным в [Медведев, 1969] впервые для практических целей антисейсмического строительства, сейсмическое районирование территории

Рис. 2. Схематические карты сейсмического районирования территории Армянской ССР 1968-го года (а) и 1978-го года (б) /

Fig. 2. Schematic maps of seismic zoning of the territory of the Armenian SSR for 1968 (a), 1978 (b)

Рис. 3. Временная схема общего сейсмического районирования территории Армянской ССР [Габриелян и др., 1989] 1 – зона ВОЗ: $M=6,7-7,0$, сотрясения в 9-10 баллов. Области сотрясений: 2 – в 9 баллов, 3 – в 8 баллов /

Fig. 3. Temporary scheme of the general seismic zoning of the territory of the Armenian SSR (Gabrielyan et al. 1989) 1. GSZ zone: $M = 6,7-7,0$, 9-10 intensity by MSK. Areas of shock: 2-9 intensity, 3-8 intensity

Рис. 4. Схематическая детерминистическая карта районирования территории Армении составленная в 1989 г. после Спитакского землетрясения 1988 г. (автор Шебалин Н. В. и др.) / Fig. 4. A schematic deterministic map of zoning for the territory of Armenia compiled in 1989 after the Spitak earthquake 1988 (author Shebalin N. V., etc.)

СССР было выполнено в Сейсмологическом институте АН СССР в 1937 г., и официально принятые схемы районирования вошли в Правила строительства в сейсмических районах.

Затем карты были опубликованы в 1949 и 1957 гг. Все они составлялись в масштабах 1:5000000, но опубликовались в еще меньших масштабах. Выкопировки из них в пределах Армянской ССР приведены на рисунке 1 (а – в) [Пирузян, 1969].

Картина, отражающая сейсмическую интенсивность на этих картах достаточно противоречива (впрочем, как и в последующих картах ОСР территории Армении).

С целью установления единого подхода к созданию карт сейсмического районирования территории союзных Республик была разработана и рекомендована «Инструкция по сейсмическому районированию».

Карта сейсмического районирования территории Армянской ССР 1968 г., составленная на основании сейсмогеологических, сейсмотектонических, инженерно-сейсмологических и др. данных, была частью общей программы по созданию карт сейсмического районирования территории союзных Республик [Сейсмическое районирование..., 1968].

Отличие этой карты от карты сейсмического районирования 1957 г. заключалось в том, что была несколько расширена VIII-балльная область в северо-восточном направлении и введена узкая VII-балльная зона в юго-западной части.

Составленная по тому же принципу карта сейсмического районирования территории Армении 1978 г., отличалась от карты сейсмического районирования 1968 г. значительным смещением на юг границы 7- и 8-балльных зон, а также исключением узкой 7-балльной зоны южной части араксинской впадины и включением ее в 8-балльную зону [Сейсмическое районирование..., 1980].

Схематические карты сейсмического районирования территории Армянской ССР 1968-го и 1978-го годов представлены на рисунке 2 (а, б).

После катастрофического землетрясения 7 декабря 1988 г., происшедшего в Армении, с целью оперативного восстановления разрушенных городов и населенных пунктов в максимально сжатые сроки (практически к началу 1989 г.) составлена новая схематическая карта сейсмического районирования территории Армянской ССР [Габриелян и др., 1989]. Карта являлась временной и была составлена по специальной методике и легенде [Сейсмическое районирование..., 1980].

В том же 1989 году была подготовлена и рекомендована временная карта сейсмического районирования территории Республики в масштабе 1:500000 (автор Шебалин Н. В. и др.).

При составлении этих карт были широко использованы и учтены, помимо всего, результаты обследования последствий Спитакского землетрясения. Вся территория Республики, в отличие от предыдущих карт районирования, была покрыта зонами 8- и 9-балльной интенсивности (рис. 3, 4).

Новые методологии по построению карт ОСР.

Варианты новых карт сейсмического районирования РА

В последние десятилетия во всем мире стали появляться все больше карт общего сейсмического районирования, на которых вместо традиционных баллов, ожидаемая сейсмическая опасность выражается в количественных показателях колебаний грунтов – чаще всего в ожидаемых максимальных значениях ускорений

Схематическая карта сейсмического зонирования
территории Республики Армения

Schematic Map of Seismic Zoning
of the Territory of the Republic of Armenia

Рис. 5. Схематическая карта сейсмического зонирования территории Республики Армения /
Fig. 5. Schematic map of seismic zoning of the territory of the Republic of Armenia

грунта. Например, в Республике Армения, одной из первых среди стран СНГ, были разработаны и внедрены национальные нормы по сейсмостойкому строительству – СНРА II-2.02.94 (главный редактор Хачиян Э.Е. [СНРА, 2006]), в которых, помимо традиционных баллов, опасность выражалась через ожидаемые максимальные значения ускорений грунтов A_{max} (рис. 5).

Однако методология построения этой карты, предложенная группой специалистов ИГИС НАН РА, ИГН НАН РА, ЕГУ РА и др., в основном, оставалась прежней. Только в отличие от прежних карт, к зонам, соответствующим интенсивностям 8, 8-9 и 9 баллов, приписывались максимально ожидаемые значения ускорений грунта со значениями, соответствующими A_{max} , приведенным в прежних (союзных) нормах (СНиП-81), т.е. для 8-ми баллов – 0,2 (g); 9-ти баллов – 0,4 (g) и вытекающее из этой арифметики значение 0,3 (g) для 8-9 баллов [СНиП, 1982].

В конце 80-х – начале 90-х годов прошлого столетия стали применяться новые разработанные методологии и подходы по оценке сейсмической опасности и, в частности, методы сейсмического районирования. Исследования по оценке сейс-

Рис. 6. Карта сейсмической опасности Кавказского региона /

Fig. 6. Seismic hazard map of the Caucasus region

мической опасности и сейсмическому районированию базировались на созданных двух взаимосвязанных моделях – модели очаговых зон и модели сейсмического эффекта [Уломов, 2008; Хачиян, 2008].

В 1990-1999 гг. по разработанным новым методологиям была составлена глобальная карта сейсмической опасности Земли в рамках международной программы «Глобальная оценка сейсмической опасности Земли» под эгидой ЮНЕСКО. На рисунке 6 приведен фрагмент этой карты – карта сейсмической опасности Кавказского региона (Крым – Кавказ – Копетдаг).

Рис. 7. Вероятностная карта сейсмического районирования территории Армении, предлагаемая НССЗ РА (1999 г.) /

Fig. 7. Probabilistic map of the seismic zoning of the territory of Armenia, proposed by the NSSP RA (1999).

Вариант вероятностной карты сейсмического районирования территории Армении в масштабе 1:500000, предлагаемый Национальной службой сейсмической защиты (НССЗ) РА, по сути, являлся детальным фрагментом карты сейсмической опасности территории Крым – Кавказ – Копетдаг (рис. 7) [Баласанян и др., 2004]. Она содержала существенные недостатки, поэтому, несмотря на стремления авторов, не приобрела статус нормативной карты ОСР РА.

На основе разработанных и усовершенствованных методов оценки параметров воздействий с применением обновленных данных, новых методов и технологий картирования были составлены (в цифровом варианте): карта сейсмической опасности территории в масштабе 1:200000 (2002 г.) и вероятностная карта сейсмического районирования в масштабе 1:500000 (2017 г.). В качестве модели очаговых зон была использована схематическая карта сейсмогенных зон с оценками сейсмических потенциалов ($M_{\max}$) основных (выделенных) структурных элементов ВОЗ, составленная сотрудниками ИГИС НАН РА [Гаспарян и др., 1999]. Что касается модели сейсмического эффекта, то в данном случае был применен комплексный подход – был использован ряд известных моделей $A_{\max}=f(M, R)$ наиболее подходящих к региональным условиям [Григорян, 2003, 2014; Григорян, Карапетян, 2008; Штейнберг, 1990; Штейнберг и др., 1993; Kotha et al., 2016; Cauzzi et al., 2015;

Рис. 8. Детерминистическая карта сейсмической опасности территории Армении в масштабе 1:200000 (авт. В.Г. Григорян) /

Fig. 8. Deterministic map of the seismic hazard of the territory of Armenia at a scale of 1: 200000

Рис. 9. Вероятностная карта ОСП территории Армении в масштабе 1:500000 /
Fig. 9. Probabilistic map of the GSZ of the territory of Armenia at a scale of 1:500,000

Chiou, Youngs, 2014; Boore et al., 2014; Campbell, Bozorgnia, 2014, 2008; Joyner, Boore, 1981; Smit et al., 2000, и др.].

Методика составления карт подробно описана в работах [Гаспарян и др., 2004; Григорян, 2005].

Карты сейсмической опасности территории Армении в масштабах 1:200000 и 1:500000 приведены соответственно на рисунках 8 и 9.

Задача дальнейших исследований состоит в рассмотрении более сложных моделей пространственно-временного распределения очагов сильных землетрясений, более объективных и приемлемых с инженерной точки зрения количественных характеристик, определяющих характер и уровень ожидаемых воздействий и методов их картирования.

Так, в рамках общей научной программы по оценке сейсмической опасности и сейсмического риска, усовершенствования методов количественной оценки параметров сейсмических воздействий в ИГИС НАН РА ведутся исследования по рассмотрению задач с использованием, кроме традиционных (смещение, скорость, ускорение), также интегральных параметров колебаний, наиболее полно характеризующих энергию воздействия [Карапетян, 2012].

Проводятся исследования по созданию карт сейсмического зонирования территории Армении на основе опорных акселерограмм землетрясений – в масштабе 1:200000.

Заключение

Карты сейсмического районирования (сейсмической опасности), как очень важный государственный документ сейсмической защиты, во всех странах периодически совершенствовались и корректировались. К их составлению привлекались

ведущие в данной области научные организации – сейсмологии, геофизики, геологии и др.

В статье в хронологическом порядке были рассмотрены все карты общего сейсмического районирования (ОСР) территории Армении, созданные на сегодняшний день.

Сопоставительный анализ созданных до настоящего времени карт ОСР показал, что картина, отражающая сейсмическую интенсивность на этих картах достаточно противоречива. Вместе с тем они постепенно совершенствовались и корректировались в свете новых, уточненных данных с применением одновременно современных методов и технологий.

На основе разработанных и усовершенствованных методов оценки параметров сейсмических воздействий с применением новых методов картирования были составлены (в цифровом варианте): карта сейсмического районирования территории Армении в масштабе 1:200 000 (в 2002 году) и вероятностная карта сейсмического районирования в масштабе 1:500 000 (в 2017 году).

Составленная новая карта территории Армении в масштабе 1:500 000, значительно отличается от действующей до настоящего времени нормативной карты ОСР (включенной в СНиП). На ней впервые выделена зона с ожидаемым максимальным значением ускорения грунта – 0,5 g, с указанием параллельно соответствующих значений интенсивности для выделенных трех зон (по шкале MSK-64).

Литература

1. Баласанян С. Ю., Назаретян С. Н., Амирбекян В. С. Сейсмическая защита и ее организация. – Гюмри: «Эльдорадо», 2004. – 436 с.
2. Габриелян А. А., Симонян Г. П., Пирузян С. А., Геодакян Э. Г. Новая схема сейсмического районирования территории Армянской ССР. // Изв. Науки о Земле АН Арм. ССР. – 1989. – Т. 42. № 4. – С. 3-10.
3. Гаспарян Г., Оганесян А., Геодакян Э., Фиданян Ф. Сейсмогенные зоны территории Армении и оценка максимально возможных ожидаемых землетрясений. // Сб. научн. трудов. – Гюмри: Изд. «Гитутюн» НАН РА, 1999. – С. 120-130.
4. Гаспарян Г., Геодакян Э., Григорян В., Оганесян А., Оганесян С. Карта сейсмической опасности территории Армении в масштабе 1:200 000 (предварительный вариант). // Сб. научн. трудов. – Гюмри: Изд. «Гитутюн» НАН РА, 2004. – С. 184-192.
5. Григорян В. Г. О зависимости ускорений колебания грунтов при сильных землетрясениях. Некоторые региональные особенности // НАН РА. Науки о Земле. – Ереван. – 2003. – Т. 56. № 2. – С. 47-50.
6. Григорян В. Г. Основная задача теории количественного сейсмического районирования (на примере территории Армении). // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2005. – № 5. – С. 42-44.
7. Григорян В. Г. Сравнительная оценка эффекта затухания ускорения грунта. // Геология и геофизика юга России. – 2014. – № 1. – С. 23-29.
8. Григорян В. Г., Карапетян Дж. К. Комплексный анализ количественных параметров колебаний грунтов и оценка их зависимостей от магнитуд землетрясений. // Строительная механика и расчет сооружений. – 2008. – № 3. – С. 59-63.
9. Карапетян Дж. К. Сопоставительный анализ расчетных кривых коэффициента динамичности $\beta(T, n)$, полученных различными методами // Вопр. инж. сейсмологии. – 2012. – Т. 39. № 3. – С. 33-40.

10. Медведев С. В. Инженерная сейсмология. – М. – 1969. – 283 с.
11. Пирузян С. А. Опыт детального сейсмического районирования территории Большого Ереванского района. – Ереван: Изд. «Айастан», 1969. – 91 с.
12. Сейсмическое районирование СССР. / Под ред. Медведева С. В. – М.: Наука, 1968. – С. 214-226.
13. Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978 г. / Гл. 17, Армения. – М.: Наука, 1980. – С. 131-137.
14. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. – М. – 1982.
15. СНРА II-6-02-2006. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. – Ереван. – 2006. – 54 с.
16. Уломов В. И. Оценка сейсмической опасности и актуализация инженерных решений. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2008. – № 3. – С. 16-21.
17. Хачиян Э. Прикладная сейсмология. – Ереван: Изд.-во «Гитутюн» НАН РА, 2008. – 491 с.
18. Штейнберг В. В. Колебания грунта при землетрясениях. // Вопросы инженерной сейсмологии. № 1. – М.: Наука, 1990. – С. 47-67.
19. Штейнберг В. В., Сакс М. В., Аптикаев Ф. Ф. Методы оценки сейсмических воздействий (пособие). РАН. – М. – 1993. – 91 с.
20. Boore D. M., Stewart J. P., Seyhan E., Atkinson G. M. NGA-West2 equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes. *Earthquake Spectra* 30, 2014, pp. 1057-1085.
21. Campbell K. W., Bozorgnia Y. NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5% damped linear acceleration response spectra. *Earthquake Spectra* 30, 2014, pp. 1087-1115.
22. Campbell K. W., Bozorgnia Y. NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10s. *Earthquake Spectra* 24, 2008, pp. 139-171.
23. Cauzzi C., Faccioli E., Vanini M., Bianchini A. Updated predictive equations for broadband (0.01-10s) horizontal response spectra and peak ground motions, based on a global dataset of digital acceleration records. *Bulletin of earthquake engineering* 13, 2015, pp. 1587-1612. Doi:10.1007/s10518-014-9685-y.
24. Chiou B. S.-J., Youngs R. R. Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthquake Spectra* 30, 2014, pp. 1117-1153.
26. Joyner W., Boore D. Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records, including records from the 1979 Imperial Valley California earthquake // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* – 1981. – Vol. 71. No. 6. – Pp. 2011-2038.
27. Kotha S. R., Bindi D., Cotton F. Partially non-ergodic region specific GMPE for Europe and Middle-East. *Bulletin of Earthquake Engineering* 14, 2016. pp. 1245-1263.
28. Smit P., Arzoumanian V. and esc. The digital accelerograph Network in the Caucasus // *Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction*. Kluwer Academic Publishers. – 2000. – Pp. 109-118.

=====GEOPHYSICS=====

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26789

Seismic hazard on the territory of Armenia: seismic zoning normative maps. Preliminary version of the new general seismic zoning map

V. G. Grigoryan, Cand. Sci. (Phys.-Math.), J. K. Karapetyan, Cand. Sci. (Geol.),
K. S. Ghazaryan, Cand. Sci. (Phys.-Math.), R. S. Sargsyan, Cand. Sci. (Geol.)

Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov of NAS RA, 5V.
Sarkysan Str., Gyumri 3115, Republic of Armenia
e-mail: g. vanand@rambler. ru

Abstract: In the article we made a chronological and detailed comparative analysis of general seismic zoning (GSZ) maps compiled in different periods for the territory of Armenia.

Based on the developed and improved methods for assessing the parameters of seismic influences and using modern methods and technologies for assessment and mapping of seismic hazard (zoning), a probabilistic map of seismic zoning for the territory of Armenia at a scale of 1: 500,000 was compiled. The map is based on the models of possible seismic sources with estimates of seismic potentials (M_{max}) of the basic structural elements (compiled by the staff of the IGES NAS RA) and the seismic effect.

The proposed version of the GSZ map of the territory of Armenia differs significantly from the current normative map. A zone with the expected maximum values of ground acceleration – 0.5g is allocated on it for the first time.

The task of further research is to consider more complex models of the space-time distribution of strong earthquake sources, more objective and acceptable (from an engineering point of view) quantitative characteristics that determine the nature and level of expected impacts and methods of their mapping.

Thus, within the framework of the general scientific program for the assessment of seismic hazard and seismic risk, the improvement of methods for quantifying the parameters of seismic effects in the IGES NAS RA, research is being conducted to consider problems using, besides traditional (displacement, speed, acceleration), also integral parameters of vibrations, the most fully characterizing the impact energy.

Keywords: earthquake, seismic zoning, source zone, seismic impact, ground acceleration.

For citation: Grigoryan V. G., Karapetyan J. K., Ghazaryan K. S., Sargsyan R. S. Seismic hazard on the territory of Armenia: seismic zoning normative maps. Preliminary version of the new general seismic zoning map. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1): 71-83. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26789.

References

1. Balasanyan S.Yr., Nazaretyan S.N., Amirbekyan V.S. Seismic protection and its organization. Gyumri: "El'dorado", 2004. 436 p. (in Russ.)
2. Gabrielyan A.A., Simonyan G.P., Piruzyan S.A., Geodakyan E.G. The new scheme of seismic zoning of the territory of the Armenian SSR. *News of Earth Sciences of the Academy of Sciences of the Armenian SSR*. 1989. Vol. 42. No. 4. pp. 3-10. (in Russ.)
3. Gasparyan G., Oganessian A., Geodakyan E., Fidanyan F. Seismogenic zones of the territory of Armenia and assessment of the maximum possible expected earthquakes. *Sb. nauchn. trudov. Gyumri, Publisher "Gitutyun" NAN RA*, 1999. pp. 120-130. (in Russ.)
4. Gasparyan G., Geodakyan E., Grigoryan V., Oganessian A., Oganessian S. Seismic hazard map of the territory of Armenia in a scale of 1: 200 000 (preliminary version). *Sb. nauchn. trudov. Gyumri, Publisher "Gitutyun" NAN RA*, 2004. pp. 184-192. (in Russ.)
5. Grigoryan V.G. On the dependence of the acceleration of ground vibrations during strong earthquakes. Some regional features. *National Academy of Sciences of the Republic of Armenia. Earth Sciences*. Erevan. 2003. Vol. 56. No. 2. pp. 47-50. (in Russ.)

6. Grigoryan V.G. The main task of the theory of quantitative seismic zoning (on the example of the territory of Armenia). Earthquake engineering. Constructions safety. 2005. No. 5. pp. 42-44. (in Russ.)
7. Grigoryan V.G. Comparative evaluation of the attenuation effect of the soil acceleration. Geology and Geophysics of the South of Russia. 2014. No. 1. pp. 23-29. (in Russ.)
8. Grigoryan V.G., Karapetyan Dzh.K. Comprehensive analysis of quantitative parameters of soil vibrations and assessment of their dependencies on earthquake magnitudes. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2008. No. 3. pp. 59-63. (in Russ.)
9. Karapetyan Dzh.K. Comparative analysis of the calculated curves of the coefficient of dynamics $\beta(T, n)$, obtained by various methods. Problems of engineering seismology. 2012. Vol. 39. No. 3. Pp. 33-40. (in Russ.)
10. Medvedev S.V. Engineering seismology. M. 1969. 283 p. (in Russ.)
11. Piruzyan S.A. Experience of detailed seismic zoning of the territory of the Greater Yerevan District. Erevan, Publisher "Ajastan", 1969. 91 p. (in Russ.)
12. Seismic zoning of the USSR. Edited by Medvedev S.V. M. Nauka, 1968. pp. 214-226. (in Russ.)
13. Seismic zoning of the USSR. Methodical foundations and regional description of the map of 1978. Ch. 17, Armenia. M. Nauka, 1980. pp. 131-137. (in Russ.)
14. SNiP II-7-81. SNiP II-7-81. Construction in seismic areas. Design Standards. M. 1982. (in Russ.)
15. SNRA II-6-02-2006. SNRA II-6.02.2006. Earthquake engineering. Design standards. Erevan. 2006. 54 pp. (in Russ.)
16. Ulomov V.I. Seismic hazard assessment and updating of engineering solutions. Earthquake engineering. Constructions safety. 2008. No. 3. pp. 16-21. (in Russ.)
17. Hachian E. Applied seismology. Erevan, Publisher "Gitutyun" NAN RA, 2008. 491 p. (in Russ.)
18. Shteinberg V.V. Ground motion during earthquakes. Problems of engineering seismology. No. 1. M. Nauka, 1990. Pp. 47-67. (in Russ.)
19. Shteinberg V.V., Saks M.V., Aptikaev F.F. Methods for assessing seismic effects (manual). RAS. M. 1993. 91 p. (in Russ.)
20. Boore D.M., Stewart J.P., Seyhan E., Atkinson G.M. NGA-West² equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes. Earthquake Spectra 30, 2014, pp. 1057-1085.
21. Campbell K.W., Bozorgnia Y. NGA-West² ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5% damped linear acceleration response spectra. Earthquake Spectra 30, 2014, pp. 1087-1115.
22. Campbell K.W., Bozorgnia Y. NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10s. Earthquake Spectra 24, 2008, pp. 139-171.
23. Cauzzi C., Faccioli E., Vanini M., Bianchini A. Updated predictive equations for broadband (0.01-10s) horizontal response spectra and peak ground motions, based on a global dataset of digital acceleration records. Bulletin of earthquake engineering 13, 2015, pp. 1587-1612. Doi:10.1007/s10518-014-9685-y.
24. Chiou B.S.-J., Youngs R.R. Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. Earthquake Spectra 30, 2014, pp. 1117-1153.
26. Joyner W., Boore D. Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records, including records from the 1979 Imperial Valley California earthquake // Bull. Seismol. Soc. Amer. – 1981. – Vol. 71. No. 6. – Pp. 2011-2038.
27. Kotha S.R., Bindi D., Cotton F. Partially non-ergodic region specific GMPE for Europe and Middle-East. Bulletin of Earthquake Engineering 14, 2016. pp. 1245-1263.
28. Smit P., Arzoumanian V. and esc. The digital accelerograph Network in the Caucasus // Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction. Kluwer Academic Publishers. – 2000. – Pp. 109-118.