

УДК 550.34

DOI: 10.23671/VNC.2018.1.11247

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ, ОБУСЛОВЛЕННОЕ ВЛИЯНИЕМ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ И ФОРМИРОВАНИЕ КАРТ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ

© 2018 В. Б. Заалишвили, д. ф.-м. н., проф., Д. А. Мельков, к. т. н.,
В. Д. Макиев

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: vzaal@mail.ru

Проявление каждого ощутимого землетрясения несет в себе уникальную информацию о его реальном проявлении на исследуемой территории. Поэтому сбор и анализ всех имеющихся данных о проявлении сейсмических событий на исследуемой территории является важным по оценке сейсмической опасности. В работе рассмотрено проявление наиболее сильного землетрясения, произошедшего в современное время – Рачинского землетрясения 29 апреля 1991 г. на территории г. Амбролаури. Показано усиление сейсмического эффекта, обусловленного влиянием грунтовых условий. Рассмотрено проявление слабого землетрясения 2005 г. на территории г. Владикавказа и выполнено сопоставление с действующей картой сейсмического микрорайонирования. Использование современных информационных технологий позволило по признакам проявления слабых воздействий выделить отдельные участки, в которых сейсмический эффект может быть обусловлен индивидуальными локальными особенностями грунтовых условий, а также спектральными особенностями воздействия и состояния застройки.

Ключевые слова: интенсивность, сейсмический эффект, макросейсмическое явление, сейсмическая опасность, инженерно-геологические условия, сейсмическое микрорайонирование

Проявление каждого ощутимого землетрясения несет в себе уникальную информацию о его реальном проявлении на исследуемой территории. Именно поэтому данные о проявлении даже слабого землетрясения важны для подтверждения, уточнения и создания карт СМР. Достаточно отметить, что подобные работы входят в первый этап работ по СМР – изучение проявления землетрясений на территории.

В качестве примера рассмотрим проявление наиболее сильного землетрясения, произошедшего в современное время, а именно, Рачинского землетрясения 29 апреля 1991 г. в Грузии. Наибольшая интенсивность проявилась в эпицентральной зоне землетрясения, к которым относятся гг. Амбролаури, Они и др. На территории г. Амбролаури согласно повреждениям зданий и сооружений были выделены зоны с интенсивностью 7 и 8 баллов. Понятно, что в будущем, при проведении СМР такие проявления являются важной основой для построения карт СМР.

Макросейсмическим обследованием установлено, что на территории города отчетливо выделяются достаточно обширные площади с резко различающимися степенями повреждений (по шкале MSK-64) жилых и общественных зданий. На основании обследований, проведенных различными проектными организациями, данных о выплате страховых сумм и материалов, собранных специалистами, за-

нимающимися вопросами сейсмического микрорайонирования [Инженерный анализ..., 1996], составлена карта проявления землетрясения на территории города (рис. 1). Для выявления связи инженерно-геологических, геоморфологических и гидрологических условий местности со степенью повреждения домов на участках, застроенных однотипными зданиями, были проведены специальные инженерно-геологические исследования. Они включали бурение скважин, открытие шурфов с отбором образцов для определения физико-механических свойств грунтов и установление уровня стояния грунтовых вод на различных участках. Анализ полученного материала показал, что наибольшие деформации и разрушения (4-5 степень повреждения) отмечаются в основном в восточной и северной частях города. Восточная часть города расположена на второй надпойменной террасе р. Риони, сложенной аллювием и делювием небольшой мощности, подстилаемых коренными породами и мергелями. Указанный район в геологическом отношении делится в свою очередь на две примерно равные площади. Первая из них сложена с поверхности аллювием, мощность которого уменьшается в южном направлении. Вторая часть с поверхности представлена делювием, перекрывающим указанный аллювий и с приближением к предгорьям-коренные глины, которые на склонах выходят на поверхность. Аллювий представлен крупнообломочными грунтами-рыхлыми галечниками мощностью до 6 м с большим количеством песчано-глинистого заполнителя (около 40%) и относительно низким объемным весом ($1,9 \text{ т/м}^3$). Делювий представлен макропористыми различной пластичности глинистыми грунтами

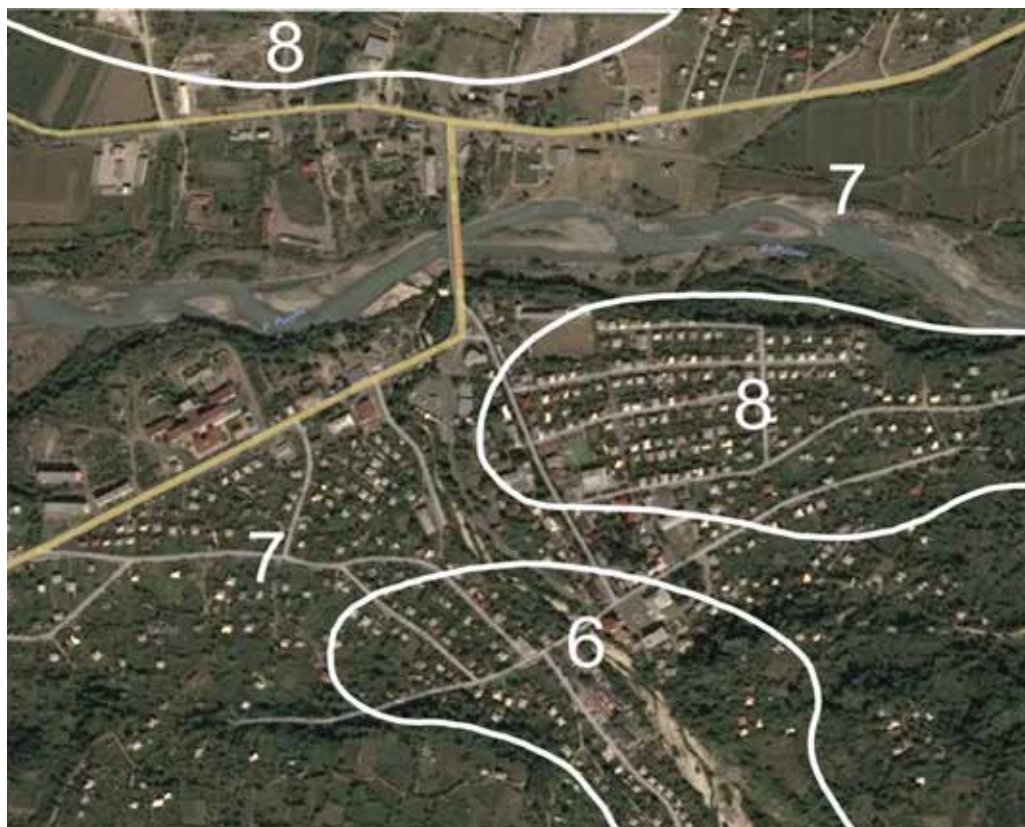


Рис. 1. Интенсивность проявления Рачинского землетрясения 29 апреля 1991 г. на территории г. Амбролаури

мощностью до 5 м (коэффициент консистенции $I_L=0,2-0,7$ и коэффициент пористости $e=0,7-1,1$, объемный вес $1,75-1,8 \text{ т/м}^3$). Северная часть города, занимающая небольшую площадь, сложена с поверхности заиленными глинистыми грунтами мощностью до 3,5 м, подстилаемыми мощной толщей галечников (с редким включением валунов) с илистым заполнителем более 30%. Уровень грунтовых вод составляет 0,5 м. Наименьшие повреждения наблюдаются на небольшой территории в южной части города по обоим берегам р. Крихула, у подножия в нижних частях склонов гор. Здания здесь в основном фундаменты на коренных глинах, местами перекрывающихся плотными галечниками с песчано-глинистым заполнителем менее 30% (плотность $2,1 \text{ т/м}^3$) мощностью до двух метров и представляющими собой аллювий р. Крихула.

По землетрясениям, имеющим слабое проявление информация обычно отсутствует (если только оно не происходит в период выполнения подобных работ), поэтому любая полученная информация о проявлении реального землетрясения в условиях умеренной и слабой сейсмичности является важной для прогнозирования опасных сейсмических воздействия на здания и сооружения, уточнения карт сейсмической опасности.

7 января 2005 года локальной сейсмической сетью Геофизического института Владикавказского научного центра РАН было зарегистрировано землетрясение с интенсивностью на территории г. Владикавказа 3-4 балла. Интенсивность землетрясения, как правило, оценивается на основе инженерного макросейсмического обследования территории, т.е. по уровню и распространению повреждений в застройке и проявлениях в окружающей среде, а также ощущениям населения. При относительно слабых воздействиях именно ощущения населения могут служить единственным источником установления проявления землетрясения.

В целях оценки особенностей проявления силы сейсмического воздействия был проведен опрос жителей г. Владикавказа. В ходе данного макросейсмического, – статистического обследования было задействовано 350 респондентов, проживающих не только на территории города, но и его окрестностях. Опрашиваемым предоставлялся специально разработанный упрощенный опросный лист в виде анкеты, в котором учитывался не только тип здания, его этажность и т.д., но и конкретные ощущения тех людей, которые находились во время землетрясения в зданиях. Это в дальнейшем явилось основой для установления уровня интенсивности (балльности) землетрясения [Заалишвили и др., 2006].

Для определения проявленной балльности в том или ином районе, результаты опроса населения сопоставлялись с действующей в нашей стране шкалой сейсмической интенсивности MSK-64. Кроме того, использовалась Европейская макросейсмическая шкала 1992, разработанная в последние годы в Европе и введенная в действие в 1996 г. [European Macroseismic Scale..., 1992].

В ходе анализа данных было установлено, что 171 человек из 350 опрошенных непосредственно ощутили на себе воздействие землетрясения с различной интенсивностью. Из них, на основе собственных ощущений и происходящих в то время зафиксированных ими же фактов, ощутили землетрясение с интенсивностью 3 балла – 85 человек; 4 балла – 86 человек. Кроме того, 189 человек, из числа опрошенных, сообщили, что они ничего не ощутили. Можно отнести отмеченную интенсивность к 2 баллам, поскольку в данном случае землетрясение отмечается только в благоприятных условиях.

Анализ данных показал, что на восприимчивость населения значительное влияние оказывает целый ряд факторов:

1) особую роль играет этажность здания, в связи с тем, что на верхних этажах размах колебаний возрастает, повышая, таким образом, чувствительность респондента;

2) в зависимости от типа или конструктивных особенностей здания (кирпичные, блочные, монолитное строение и т.д.) чувствительность респондента будет меняться;

3) физическое состояние застройки (ветхость, аварийность и т.д.) так же меняет чувствительность людей.

4) помимо этого, значительное влияние может оказывать вид и состояние грунтов – оснований застройки (выветрелые, обводненные и т.д.).

Мы можем судить о важности последнего фактора на примере городка «Весна», где в формировании грунтовой толщи принимают участие глинистые грунты текучей консистенции ($I_L > 0.5$). Как показали результаты исследования, жители указанного городка, как верхних, так и нижних этажей ощутили землетрясение в виде события высокой интенсивности. Дело в том, что грунтами – основанием застройки служат весьма слабые глинистые грунты, меняющиеся вплоть до текучего состояния, которые при относительно слабых воздействиях обуславливают сильные колебания.

В это же самое время жильцы, проживающие в зданиях, расположенных на галечниках с песчаным заполнителем – центр города, ул. Кирова, проспект Мира, ул. Миллера, ул. Томаева и т.д., практически не ощутили на себе никакого воздействия (преимущественно нижние этажи).

Что касается других факторов, то в микрорайонах, в которых преобладают многоэтажные здания, землетрясение, в целом, ощущалось гораздо сильнее, чем в районах с малоэтажной застройкой. Среди таких районов: т.н. «БАМ», 34 микрорайон: проспект Доватора, ул. Кырджалийская; район стадиона «Спартак»: ул. Куйбышева, ул. Кутузова, ул. Шмулевича, ул. Ватутина, Рынок «Привоз». В многоэтажных зданиях реакция на воздействие было более значительным: кроме раскачивания, например, люстр слышался звон посуды, треск мебели и т.д.

Анализ данных показал, что землетрясение в подавляющем количестве случаев ощутили люди, живущие в застройке, расположенной на участках с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями.

Наибольшее проявление землетрясения соответствовало застройке, расположенной на глинистых грунтах текучей консистенции, которые уже упоминались ранее. Кроме того, значительное воздействие ощутили жильцы верхних этажей зданий, расположенных на плотных галечниках.

Учитывая, что исторически все сейсмические шкалы основаны именно на ощущениях людей, проживающих в малоэтажных типичных зданиях индивидуальной застройки, мы сделали поправку за этажность. В ряде случаев высокая интенсивность отмечалась в новых районах в северо-западной части города в 9-этажных зданиях. Особенности проявления землетрясений в многоэтажных домах отмечались в частности при анализе землетрясения в Охотском море [Заалишвили, Мельков, 2013].

Это с одной стороны позволило стандартизировать полученные данные, а с другой – непосредственно использовать положения сейсмической шкалы при уста-

новлении проявленной интенсивности землетрясения. Это позволило построить макросейсмическую карту-схему, которая сопоставлялась с картой сейсмического микрорайонирования [Заалишвили и др., 2012]. Карта была построена по результатам работ 2009-2010 гг. включающих уточнение грунтовых условий и исследования инструментальными методами (рис. 2). Макросейсмическое обследование не затронуло северо-восточную часть территории города, на которой расположены промышленные объекты, а также мало застроенную к тому времени юго-западную часть (Садоводческие товарищества «Иристон», «Терек», «Дарьял», «Дружба»).

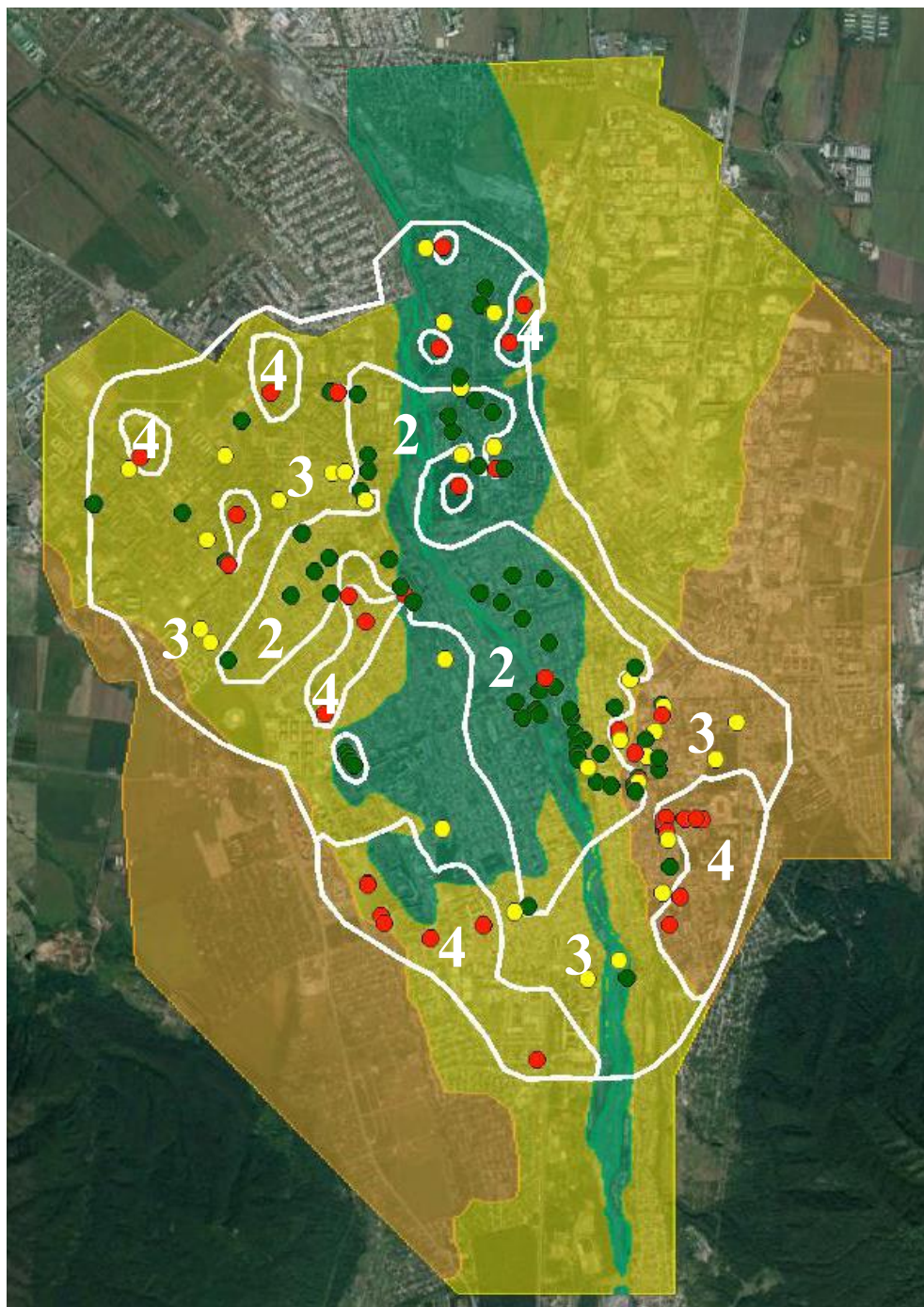


Рис. 5. Проявление землетрясения 7 января 2005 г. на территории г. Владикавказа и карта-схема сейсмического микрорайонирования исследуемой территории.

В результате исследования было установлено, что весьма контрастно или уверенно выполняется дифференцирование по степени сейсмической опасности грунты, составляющие территорию г. Владикавказа.

Наибольшей опасностью характеризуются просадочные, глинистые грунты текучей консистенции, средней опасностью – глинистые грунты полутвердой консистенции и галечники с песчано-глинистым заполнителем >30%, перекрытые глинистыми грунтами мощностью 4-5 м и наименьшей – галечники с песчано-глинистым заполнителем <30%.

Выводы

- Анализ последствий Рачинского землетрясения в Амбролаури показал, что наибольшие деформации и разрушения (4-5 степень повреждения) отмечаются в основном в восточной и северной частях города, расположенных на второй надпойменной террасе р. Риони, сложенной крупнообломочными грунтами-рыхлыми галечниками мощностью до 6 м с большим количеством песчано-глинистого заполнителя (около 40%) и глинистыми грунтами мощностью до 5 м (коэффициент консистенции $I_L = 0,2-0,7$ и коэффициент пористости $e=0,7-1,1$). Наименьшие повреждения наблюдаются на небольшой территории в южной части города по обоим берегам р. Крихула, у подножия в нижних частях склонов гор. Здания здесь в основном фундированы на коренных глинах, местами перекрывающихся плотными галечниками с песчано-глинистым заполнителем менее 30% мощностью до двух метров и представляющими собой аллювий р. Крихула. Аналогичные воздействия можно ожидать на близких грунтовых условиях при проявлении сильного землетрясения на территории г. Владикавказа.

- Участки, сложенные сухими валуно-галечниковыми грунтами с песчано-глинистым заполнителем < 30%, которые для г. Владикавказа являются преобладающими подстилающими грунтами (достигают 200-500 м мощности и лишь на локальных участках выходят на поверхность), отнесены к 7 балльной сейсмической зоне. Валунно-галечники с заполнителем > 30% отнесены к 8 балльной зоне. На территории г. Владикавказа выделены участки сложенные глинистыми грунтами текучей консистенции или пластичные глинистые грунты с близким стоянием уровня грунтовых вод, считающиеся наихудшими в сейсмическом отношении. Указанные участки отнесены к 9 балльной сейсмической зоне.

- Результаты изучения проявления 3-4-балльного землетрясения от 7 января 2005 г. на территории г. Владикавказа, несмотря на низкий класс события, оказались полезными для установления сейсмических свойств грунтов на территории города.

- Землетрясение в подавляющем количестве случаев с наибольшей интенсивностью ощутили люди, живущие в застройке на участках с грунтами, отнесенными к 9 балльной зоне.

- Также выделены отдельные участки, в которых сейсмический эффект может быть обусловлен индивидуальными локальными особенностями грунтовых условий, глубиной заложения фундамента, а также спектральными особенностями воздействия и состояния застройки.

Литература

1. Инженерный анализ последствий Рачинского землетрясения 1991 г. в Грузии. Академия наук Грузии. – Тбилиси: Мецниереба, 1996. – 240 с.
2. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А. О возможной интенсивности проявления на территории Москвы землетрясения в Охотском море 24 мая 2013 г // «Сейсмическая опасность. Управление сейсмическим риском на Кавказе». – Владикавказ: ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А. – 2013. – С. 78-81.
3. Заалишвили В.Б., Бегус Е.В., Громова Н.А. Макросейсмическое проявление землетрясения 7 января 2005 года на территории г. Владикавказа // Труды молодых ученых. – Владикавказ. – 2006. – № 1. – С. 186-191.
4. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Габеева И.Л., Дзэбоев Б.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С., Шепелев В.Д. Сейсмическое микрорайонирование территории г. Владикавказа // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2012. – № 1. – С. 49-58.
5. European Macroseismic Scale 1992. Conseil De L'Europe Cahiers Europeen de Geodynamique et de Seismologie. Vol. 7. – Luxemburg. – 1993. – 79 p.

DOI: 10.23671/VNC.2018.1.11247

MACROSEISMIC EVIDENCE OF SEISMIC EVENTS CAUSED BY INFLUENCE OF GROUND CONDITIONS AND FORMATION OF MAPS OF SEISMIC MICROZONATION

© 2018 V. B. Zaalishvili, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., D. A. Melkov, Ph. D., V. D. Makiev

Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz,
Markov Str., 93 a, e-mail: vzaal@mail. ru

Macroseismic evidence of each significant earthquake carries a unique information about its actual impact on the investigated territory. Therefore, the collection and analysis of all available data on the occurrence of seismic events in the study area is important in assessing seismic hazard. The paper shows the manifestation of the strongest earthquake that occurred in modern times – the Racha earthquake on April 29, 1991 in the territory of Ambrolauri city. The increase in the seismic effect due to the influence of ground conditions is shown. The manifestation of a weak earthquake in 2005 in the territory of the city of Vladikavkaz is considered and a comparison is made with the current seismic microzoning map. The use of modern information technologies made it possible, on the basis of manifestations of weak effects, to single out individual areas in which the seismic effect can be caused by individual local features of ground conditions, as well as the spectral features of the impact and building conditions.

Keywords: intensity, seismic effect, macroseismic evidence, seismic hazard, engineering-geological conditions, seismic microzonation.

References

1. Inzhenernyj analiz posledstvij Rachinskogo zemletrjasenija 1991 g. v Gruzii. [Engineering analysis of the consequences of the Racha earthquake in 1991 in Georgia]. Akademija nauk Gruzii. Tbilisi: Mecniereba, 1996. 240 p. (in Russian)
2. Zaalishvili V.B., Mel»kov D.A. O vozmozhnoj intensivnosti projavlenija na territorii Moskvy zemletrjasenija v Ohotskom more 24 maja 2013 g [About effect in Moscow of an earthquake in the Sea of Okhotsk on May 24, 2013]. «Sejsmicheskaja opasnost». Upravlenie sejsmicheskim riskom na Kavkaze». Vladikavkaz: CGI VNC RAN i RSO-A, 2013. Pp. 78-81. (in Russian)
3. Zaalishvili V.B., Begus E.V., Gromova N.A. Makrosejsmicheskoe projavlenie zemletrjasenija 7 janvarja 2005 goda na territorii g. Vladikavkaza [Macroseismic effect of the earthquake on January 7, 2005 in the territory of Vladikavkaz]. Trudy molodyh uchenyh. Vladikavkaz, No. 1. 2006, Pp. 186-191. (in Russian)
4. Zaalishvili V.B., Mel»kov D. A., Gabeeva I.L., Dzeboev B.A., Dzeranov B.V., Kanukov A.S., Shepelev V.D. Sejsmicheskoe mikrorajonirovanie territorii g. Vladikavkaza [Seismic microzonation of Vladikavkaz city territory]. Sejsmostojkoe stroitel»stvo. Bezopasnost» sooruzhenij. 2012. No. 1. Pp. 49-58. (in Russian)
5. European Macroseismic Scale 1992. Conseil De L»Europe Cahiers Europeen de Geodynamique et de Seismologie. Vol. 7. Luxemburg, 1993, 79 p.