

УДК 550.34

СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ Г. ВЛАДИКАВКАЗА

*Заалишвили В. Б.¹, Мельков Д. А.², Габеева И. Л.³, Дзеранов Б. В.⁴,
Кануков А. С.⁵, Шепелев В. Д.⁶*

SEISMIC MICROZONATION OF THE TERRITORY OF VLADIKAVKAZ CITY

Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Gabeeva I. L., Dzeranov B. V., Kanukov A. S., Shepelev V. D.

Results of seismic microzonation of the territory of Vladikavkaz city held in 2011 are considered. On the results of detail seismic zonation and macroseismic investigation of past earthquakes etalon soil (average ground conditions) in the form of unsaturated soils of medium-hard consistence was determined. Initial intensity (seismicity) of the territory equal to 8 degree is assigned to these soils. Intensity increments for sites with typical soil conditions were estimated by means of instrumental, calculational and instrumental-calculational methods of seismic microzonation. Corresponding seismic microzonation map of Vladikavkaz city in terms of macroseismic intensity in scale of 1:10,000 was created.

Keywords: seismic hazard, site effect, seismic microzonation.

Сейсмическое микрорайонирование (СМР) можно рассматривать как методику районирования территории города или большой строительной площадки по участкам с одинаковой реакцией слоев грунтовой толщи на стандартное сейсмическое воздействие того или иного уровня и оценки относительного изменения характеристик колебаний грунтовой толщи на дневной поверхности участков относительно характеристики колебания так называемого эталонного участка в единицах интенсивности или ускорения, которому приписана исходная интенсивность. В России к эталонным участкам относят участки, сложенные породами, соответствующими средним по сейсмическим свойствам грунтовыми условиями для данной территории. В Ар-

мении и Грузии к эталонным участкам, как правило, относили участки с наихудшими для данной территории грунтовыми условиями, хотя в отдельных случаях они могли быть и средними [1]. В США к эталонным участкам относят участки, сложенные скальными грунтами. В бывшем СССР участки с эталонными грунтовыми условиями традиционно устанавливали по результатам макросейсмического обследования прошлых сильных и разрушительных землетрясений.

Участки, характеризуемые одинаковой интенсивностью, объединены в соответствующие сейсмические зоны. При этом для исследуемой территории реализуется учет инженерно-геологических, гидрогеологических и геоморфологических условий при

¹Заалишвили Владислав Борисович, д-р физ.-мат. наук, директор Центра геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания, заведующий лабораторией инженерной сейсмологии; e-mail: vzaal@mail.ru.

²Мельков Дмитрий Андреевич, канд. техн. наук, заведующий сектором современных геотехнологий Центра геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания; e-mail: melkovd@mail.ru.

³Габеева Ирина Лазаревна, научный сотрудник Центра геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания; e-mail: tzaal@mail.ru.

⁴Дзеранов Борис Виталиевич, научный сотрудник Центра геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания; e-mail: dzboris@gmail.com.

⁵Кануков Александр Сергеевич, научный сотрудник Центра геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания; e-mail: stars3000@front.ru.

⁶Шепелев Владимир Дмитриевич, стажер-исследователь Центра геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания; e-mail: vovchila@yandex.ru.

определении ожидаемой интенсивности. С другой стороны, целью проведения сейсмического микрорайонирования является формирование исходных данных для оценки уязвимости жилищного фонда при различного уровня сейсмических воздействиях и градостроительного проектирования.

Современные принципы проведения работ по сейсмическому микрорайонированию, используемые за рубежом, в частности, в Европе, предполагают дифференциацию исследуемой территории по типу грунтовых условий. При этом территория делится сеткой на равные ячейки. Далее определяются параметры, формирующие особенности грунтовых условий в каждой из этих ячеек, что предполагает активное применение геоинформационных (ГИС) технологий [2]. Первые подобные исследования нами были проведены в 2000 г. в процессе выполнения международного проекта для большого участка территории г. Тбилиси, сложенного различными видами грунтов, при этом находящимся в различных физических условиях [3].

В целом проведение сейсмического микрорайонирования можно разделить на три этапа. На первом этапе проводится анализ региональной сейсмической опасности для оценки характеристик землетрясения на обнажениях горной породы для каждой ячейки. На втором этапе представленные профили площадки моделируются на основе имеющихся результатов бурения и полевых испытаний. Третий этап включает в себя анализ ожидаемой реакции площадки для оценки характеристик землетрясения на дневной поверхности и интерпретацию результатов микрорайонирования [4, 5]. В условиях, когда имеющиеся данные инженерно-геологического районирования (как правило, результаты изысканий прошлых лет) не соответствуют современным требованиям (например, скудные и неоднозначные данные о количестве песчано-глинистого заполнителя в галечниках), проведение инструментальных исследований на основе некоторой выбранной сетки на территории является необходимым условием достоверности конечного результата.

В настоящей работе объединен подход, используемый за рубежом, с достижениями российских ученых, играющих основополагающую роль в развитии и реализации дисциплины сейсмического микрорайонирования, в особенности инструментального метода, являющегося основным методом СМР.

Сейсмический процесс является сложным и многофакторным, поэтому при разработке итоговой карты сейсмического микрорайонирования учитываются результаты комплексного использования способов инструментального, расчетного методов, а также недавно разработанного инструментально-расчетного метода [5–7].

Объектом исследований являлись сейсмические условия территории г. Владикавказа как непосредственная основа сейсмостойкого проектирования и строительства. В качестве основы оценки сейсмической опасности территории рассматривался созданный нами комплект вероятностных карт сейсмической опасности (1 %, 2 %, 5 %, 10 %) территории РСО-А в масштабе 1:200 000 [7–10]. При проведении сейсмического микрорайонирования был использован инструментальный метод СМР [1, 11] на основе слабых землетрясений, сейсмических жесткостей и микросейсм, а также расчетный метод, реализующий МОВ и МКЭ [12–15].

Для массового, т.е. основного строительства нами были решено использовать карту пятипроцентной вероятности превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет как наиболее «реальную» для исследуемой территории [16]. На основе учета указанной вероятностной карты сейсмической опасности территории РСО-А, соответствующей реальной повторяемости 1000 лет [17], составлена карта сейсмического микрорайонирования территории г. Владикавказа, предназначенная для массового строительства. Таким образом, пятипроцентная вероятностная карта детального сейсмического районирования составляет основу для создания пятипроцентной вероятностной карты сейсмического микрорайонирования — непосредственной основы сейсмостойкого строительства.

В процессе исследования был произведен анализ результатов, полученных в ходе реализации в 1969–2006 гг. различными научными учреждениями работ по сейсмическому микрорайонированию территории г. Владикавказа [18, 19].

Проведение настоящих работ по сейсмическому микрорайонированию территории города в 2009–2010 гг. почти идеально попадает в новый 20-летний интервал повторяемости предыдущих работ по СМР. При этом за прошедшие с 1969 г. 40 лет появились не только новые методы и технологии проведения работ, но и значительно изменились представления об уровне сейсмичности

на Кавказе, что находило (или не находило) в той или иной степени определенное отражение в соответствующих времени строительных нормах. Работы прошлых лет ярко отражают эволюцию представлений о факторах, формирующих сейсмический эффект землетрясений. Так, в 1970 г. наряду с традиционными на тот период методами и способами оценки сейсмических свойств грунтов впервые в СССР был использован расчетный метод многократно отраженных волн (МОВ) сейсмического микрорайонирования, позволивший учесть колебания мощной грунтовой толщи при землетрясениях [18].

Для уточнения различных показателей грунтовой толщи в настоящей работе использовались современные измерительные средства и оборудование: Георадар «ОКО-2», электроразведочная станция ЭРП-1 и сейсморазведочная станция «Лакколит Х-2М». Это позволило в процессе исследования осуществлять контроль получаемых данных. Указанная в комплексе аппаратура разработана на основе результатов новейших достижений отечественных приборостроителей на уровне мировых стандартов и обеспечена современными программами компьютерной обработки полевых материалов.

В соответствии с региональными строительными нормами *метод сейсмических жесткостей* обязателен для применения как основной на объектах сейсмического микрорайонирования всех классов [20]. Приращение балльности определялось с помощью известной формулы С. В. Медведева. В результате обобщения результатов исследований, выполненных для всей территории города, для средних грунтовых условий приняты следующие характеристики: $v_s = 350$ м/с и $\rho = 1,85$ т/м³. Кроме того расчеты выполнялись по модифицированной формуле Максимова–Заалишвили, учитывающей резонансные свойства грунтов при малых уровнях воздействия:

$$\Delta I_{МЗ} = \lg \left(\frac{\rho_0 v_0}{\rho_i v_i} e^{2,5(\lg v_0 - \lg v_i)} \right), \quad (1)$$

что позволило повысить обоснованность получаемых результатов [1].

Результаты, включающие анализ категории грунтов согласно карте инженерно-геологического районирования, нанесены на карту с целью сопоставления с результатами других методов (рис. 1).

Следующим обязательным для применения способом инструментального метода

сейсмического микрорайонирования является *способ регистрации землетрясений* [20, 21].

Организация в 2004 г. постоянной локальной сети сейсмических наблюдений на участках с различными грунтовыми условиями на территории г. Владикавказа позволила получить представительный набор сейсмических записей, характеризующих свойства грунтов-оснований застройки. Пункты наблюдений оснащены современными регистраторами сейсмических сигналов «Дельта-Геон», до июля 2006 г. в качестве сейсмоприемников использовались сейсмоприемники типа СК-1П, а с августа 2006 г. — сейсмоприемники типа С-5-С. По сравнению с сейсмоприемниками СК-1П, используемыми в региональной сети Кармадонского параметрического полигона, сейсмоприемники С-5-С являются более длиннопериодными, что позволило изучать более низкочастотный диапазон и записывать события большей интенсивности, что вполне соответствует задачам инженерной сейсмологии. Использование сейсмоприемников С-5-С также позволило уточнить приращение сейсмической интенсивности для станции ТЕА. В 2010 г. в процессе выполнения работы сеть была расширена и дополнена двумя станциями по улицам Гадиева и Владикавказской (BUR и TUR, соответственно, рис. 4–5). Результаты расчета приращений интенсивности по обоим приборам сведены в табл. 1. Грунтовые условия станции «ГЕО» в виде галечников были приняты в качестве средних грунтовых условий. Такое отнесение обусловлено количеством заполнителя в галечниках > 30 %.

Установлено значительное влияние грунтовых условий на амплитудно-частотные характеристики записей сопоставленных участков и выделены опасные частоты колебаний.

Способ микросейсм является вспомогательным и применяется в комплексе с другими методами [21, 22], результаты определения приращений сейсмической интенсивности по записям микросейсм, полученным на пунктах сети сейсмологических наблюдений, приведены в табл. 2.

Использование стационарных пунктов для регистрации микросейсм позволило определить суточные вариации амплитуд микросейсмических колебаний в различных частях города Владикавказа. Использование амплитуд записей микросейсм для оценки приращения балльности грунтов, как пра-

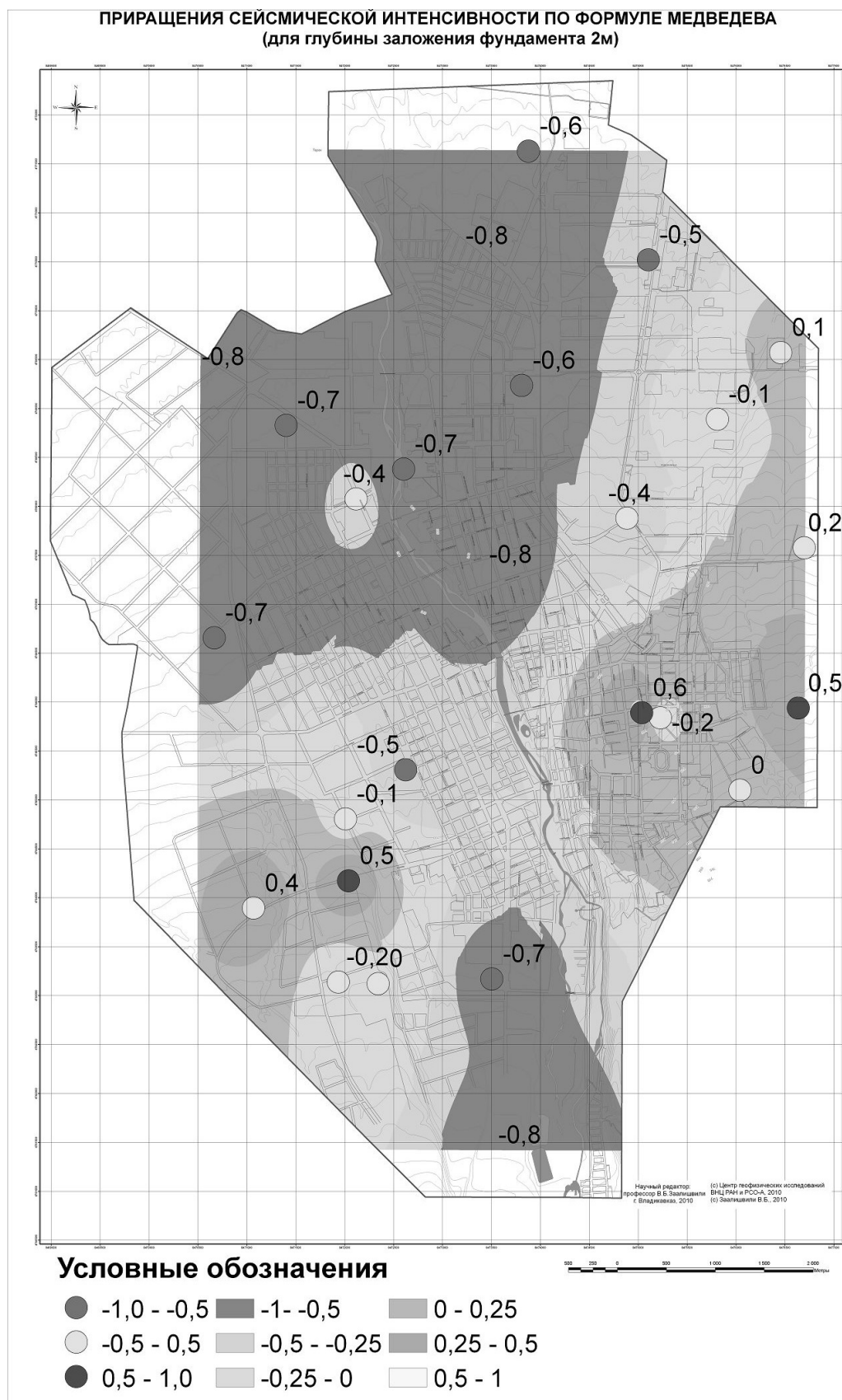


Рис. 1. Результаты расчетов приращений сейсмической интенсивности по формуле С. В. Медведева

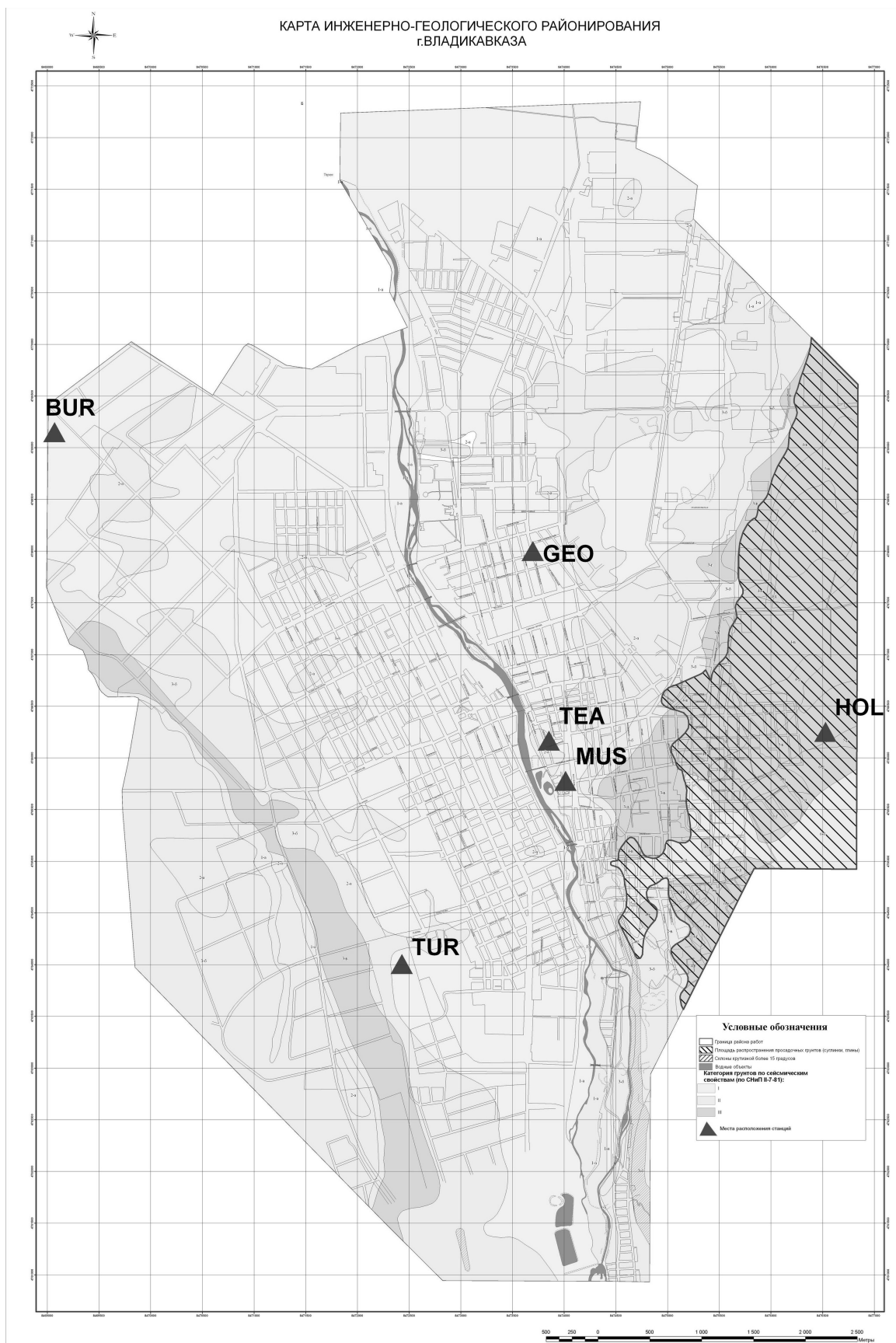


Рис. 2. Схема расположения сейсмических станций на территории г. Владикавказ, инженерно-геологические условия исследуемой территории

Таблица 1. Приращения сейсмической интенсивности по записям землетрясений

Код станции	ΔI СК-1П	ΔI С-5-С	ΔI
MUS	-0,1	-0,1	0
GEO	0	0	0
HOL	0,4	0,6	1
TEA	-0,2	-0,6	-1
BUR	-	-0,2	0
TUR	-	0,3	0

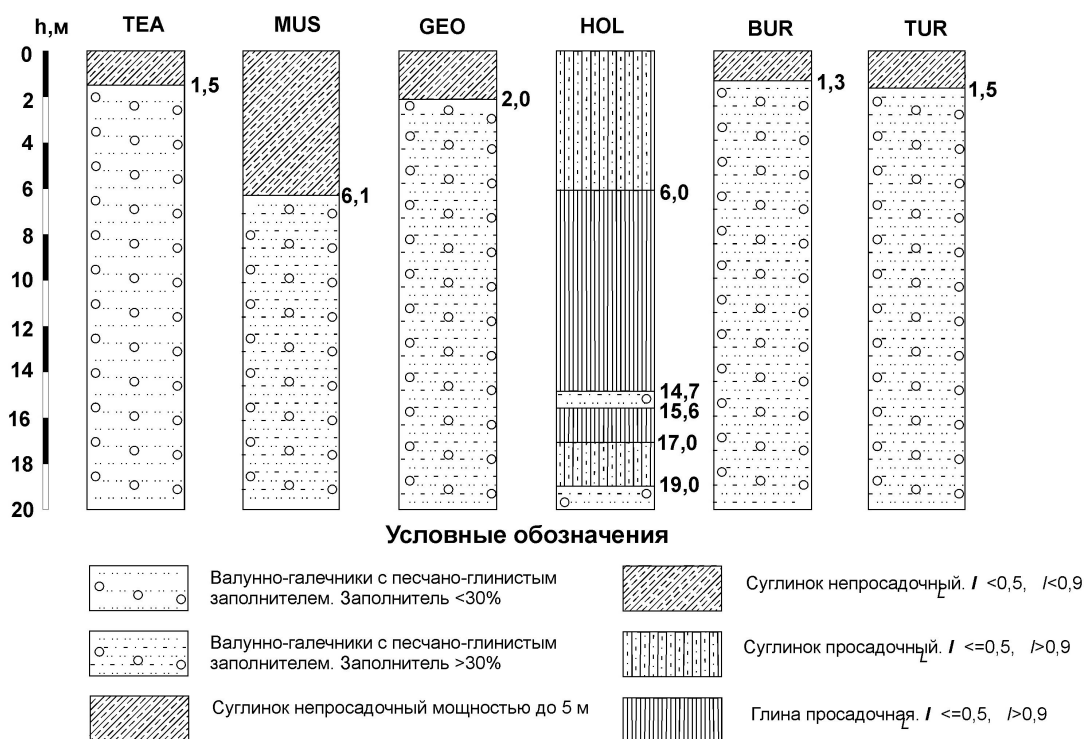


Рис. 3. Грунтовые условия сейсмических станций, расположенных на территории г. Владикавказ

Таблица 2. Приращения сейсмической интенсивности по записям микросейсм

Код станции	ΔI СК-1П	ΔI С-5-С	ΔI
MUS	-0,95	-0,20	0
GEO	0	0,00	0
HOL	0,03	0,68	1
TEA	-1,05	-0,60	-1
BUR	-	-0,20	0
TUR	-	0,25	0

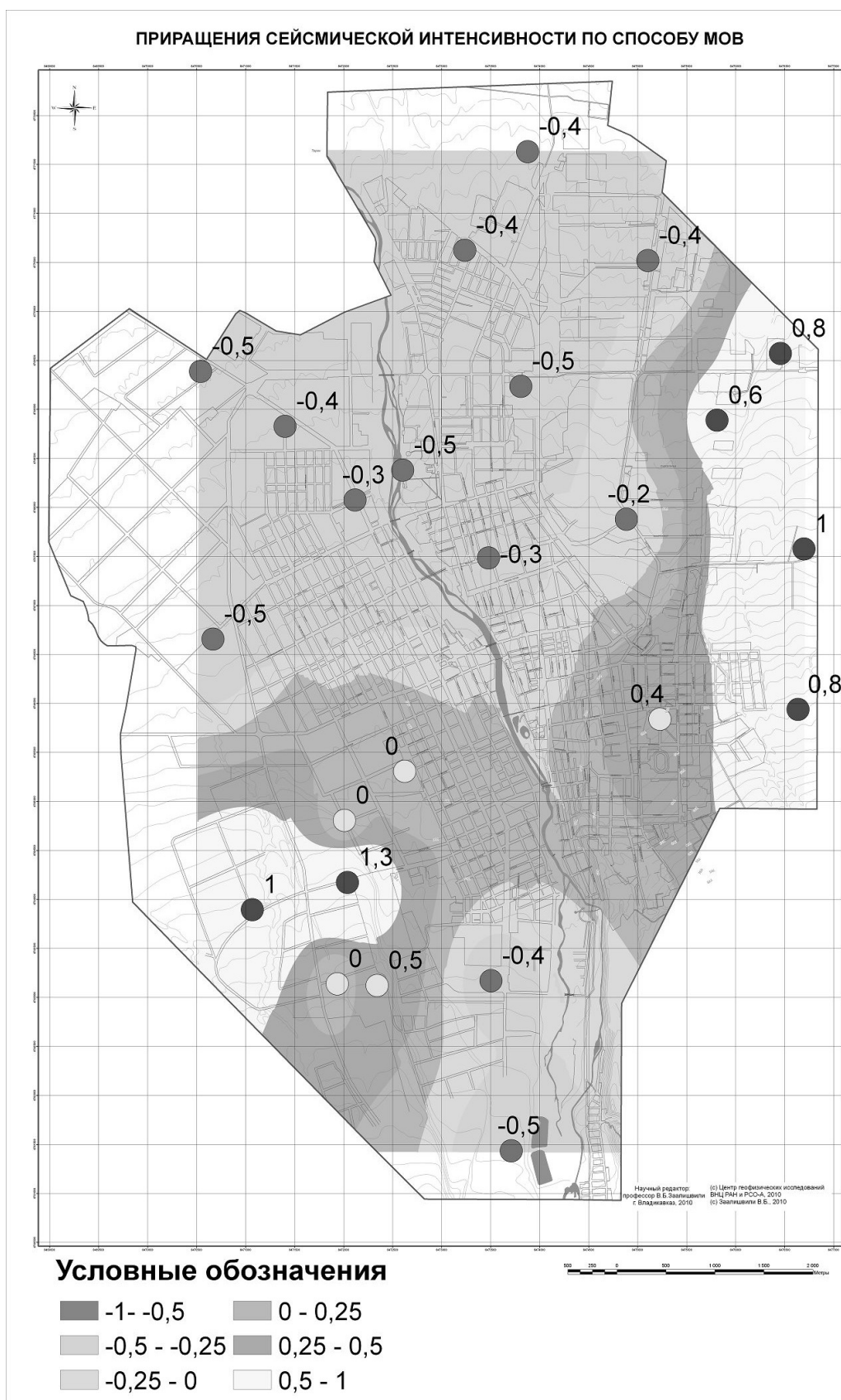
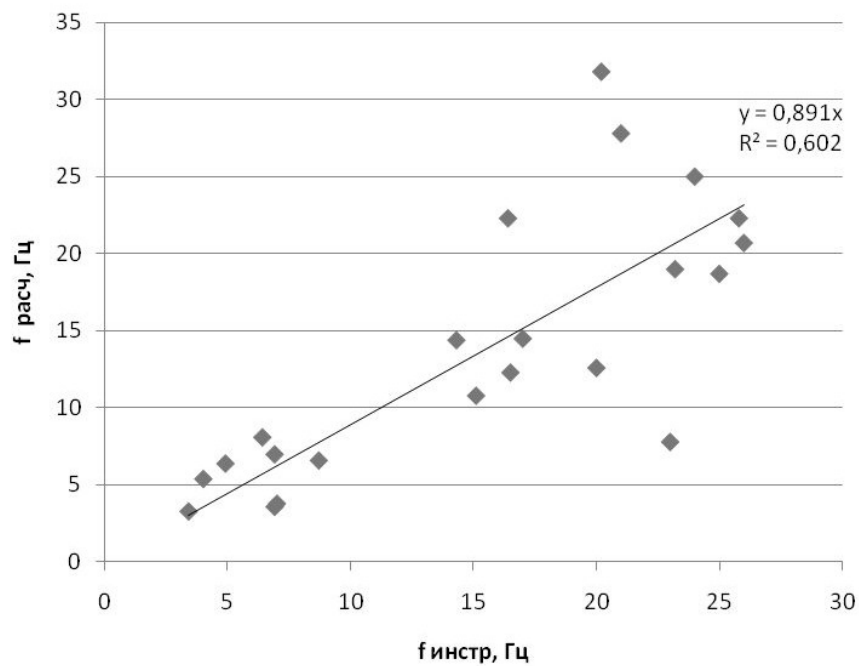
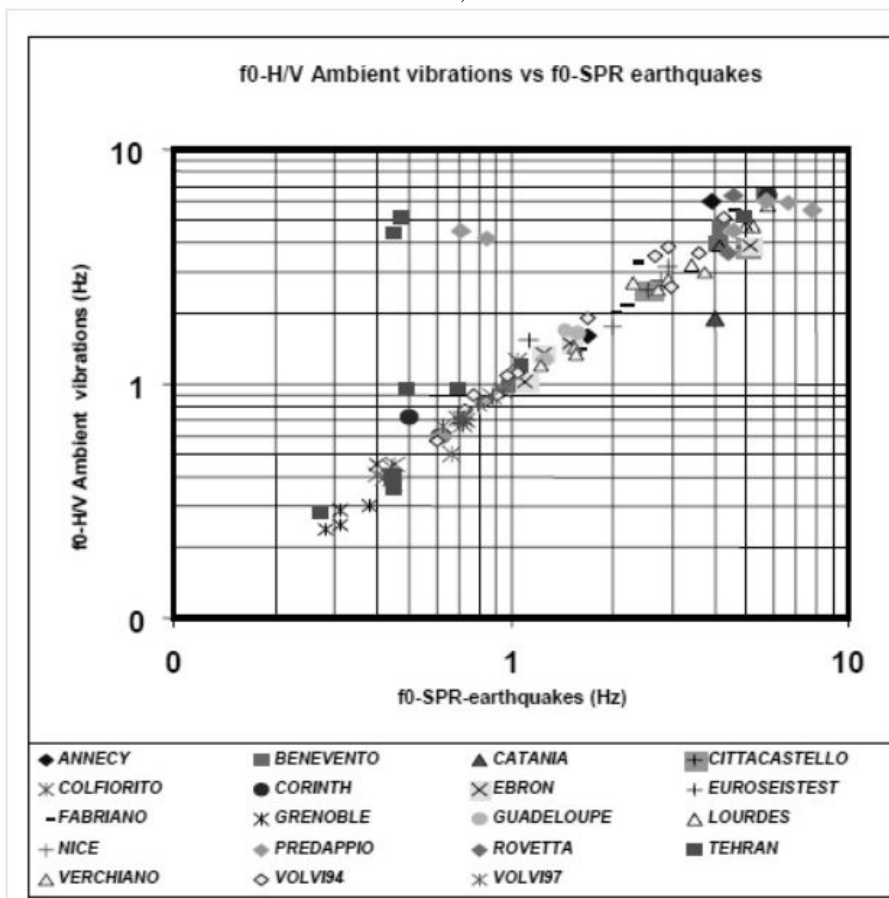


Рис. 4. Результаты расчетов приращений сейсмической интенсивности способом МОВ сейсмического микрорайонирования



а)



б)

Рис. 5. Соотношение между инструментальными и расчетными значениями резонансных частот

вило, характеризуется высокой неопределенностью [1, 23]. Очевидно, что близость промышленных объектов к месту расположения станции «Геоцентр» обуславливает завышение амплитуд микроколебаний на данной станции (предприятия функционируют круглосуточно), кроме того, станция «Театр» расположена в достаточной близости от р. Терек, также являющейся мощным источником микроколебаний.

При использовании *расчетного метода* в виде способа МОВ (рис. 4) [24] в качестве входных акселерограмм применялись синтетические записи, полученные стохастическим методом для Сунженской зоны ВОЗ (западная ветвь) и для Владикавказского разлома в силу непосредственной близости к черте города — акселерограмма, полученная по программе FINSIM [25]. Кроме того, были использованы инструментальные записи реальных сильных землетрясений, зарегистрированных в различных регионах мира. Для прогноза поведения грунтов при интенсивных сейсмических нагрузках использовалась программа NERA, позволяющая учитывать нелинейные свойства грунтов. Внешнее сейсмическое воздействие задавалось в форме синтетической акселерограммы сильного землетрясения для Владикавказского разлома с магнитудой $M_{max} = 7,1$.

Оценка влияния мощной грунтовой толщи на спектральные особенности колебаний производилась по нескольким моделям на основе данных схематического геолого-геофизического разреза. Влияние мощной толщи может проявляться на частотах 0,4 Гц и 1,2–1,6 Гц.

По результатам моделирования и последующего расчета с помощью сильных землетрясений были также построены кривые усиления колебаний верхней толщи разреза по отношению к подстилающей толще плотных галечников (для верхней части разреза). Выделенные преобладающие частоты колебаний сравнивались с результатами выделения преобладающих частот колебаний по записям микросейсм на исследуемых участках с использованием методики спектральных H/V отношений [26].

Соотношение между инструментальными и расчетными значениями резонансных частот приведено на рис. 5а. В общем наблюдается соответствие значений частот, соотношение можно интерполировать в виде

$$f_{\text{расч}} = 0,89 f_{\text{инстр}} \quad (2)$$

с величиной $R^2 = 0,60$.

Несмотря на некоторые наблюдаемые различия, можно выделить достаточно общие закономерности. Для участков, сложенных толщей глинистых грунтов текучей консистенции, наблюдается максимальное усиление амплитуд колебаний и снижение частот в диапазоне 1,7–6 Гц. На участке, сложенном глинистыми грунтами полутвердой консистенции, усиление колебаний в целом меньше в два раза и резонансные частоты составят 6–7 Гц. Для верхнего слоя галечников с заполнителем $> 30\%$ спектральные амплитуды несколько меньше, основной спектральный пик на частоте 10–12 Гц; для галечников с заполнителем $< 30\%$ спектральный пик соответствует 19 Гц и выше.

Значительно количество участков, расположенных в различных частях мира, было исследовано группой европейских ученых в рамках проекта SESAME (Coordinator — Pierre-Yves Bard) [27]. На рис. 5б показанное соотношение между преобладающими частотами и амплитудами спектральных H/V отношений, полученных по записям микросейсм, и соответствующие частоты и амплитуды спектральных отношений, полученных по записям землетрясений, по отношению к эталонному участку. Видно четкое соответствие преобладающих частот, выделенных с помощью спектральных H/V отношений и по записям землетрясений.

Соответствие спектральных характеристик участков, полученных различными методами, позволило вполне обоснованно использовать записи микросейсм для детализации результатов инструментального метода и уточнения границ карты инженерно-геологического районирования.

На территории г. Владикавказа были выполнены записи микросейсмических колебаний в различных участках города, охватив всю его территорию. Регистрация микросейсм производилась тремя мобильными сейсмическими станциями, включающими регистраторы сейсмических сигналов (РСС) «Дельта-Геон-02М» и сейсмоприемники СК-1П.

В результате проведения данной работы была построена карта преобладающих частот колебаний на территории города Владикавказа (рис. 6).

В работе также впервые использовался ранее авторами разработанный новый инструментально-расчетный метод, применение которого основано на непосредственном

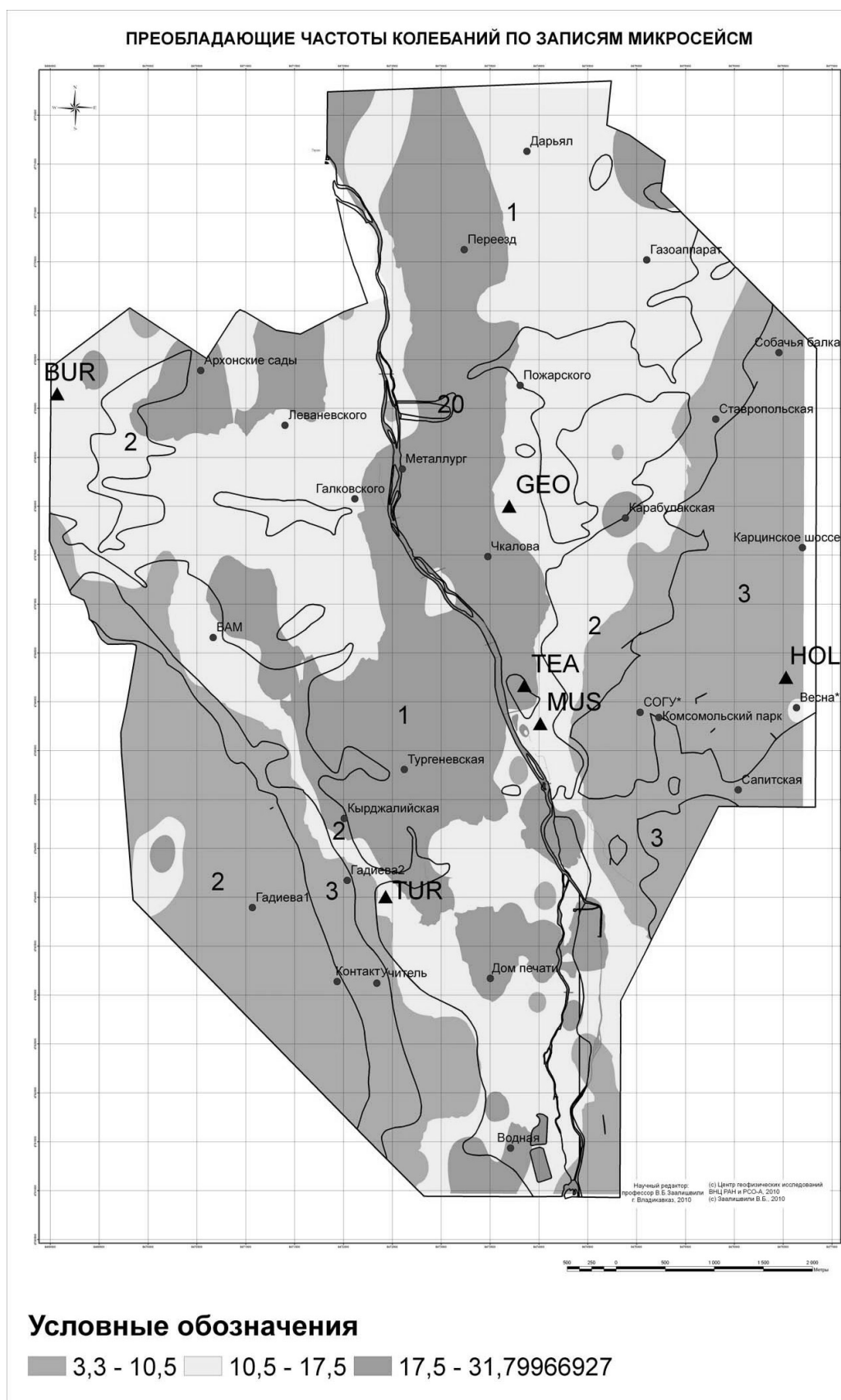


Рис. 6. Результаты дифференциации грунтов по признаку преобладающих частот колебаний и границы зон по карте инженерно-геологического районирования

Таблица 3. Приращения сейсмической интенсивности

Код станции	Эквивалент	M	h, км	Δ , км	A_{max} , см/с ²	A_{max} ($\Delta = 10$ км), см/с ²	ΔI от-но KGS001
KGS001	MUS («Музей»)	6,3	8	30	129	191	–
KGS004	HOL («Весна»)	6,3	8	19	293	350	0,87

использовании базы данных сильных движений типа K-NET (Япония) в виде реальных записей сильных землетрясений, зарегистрированных в различных регионах мира.

При использовании инструментально-расчетного метода в виде способа инструментальных аналогий для реализации расчетов из банка данных сильных движений Центра, включающего почти 50 000 записей, подбирались записи землетрясений на участках с близкими для исследуемого грунтовыми условиями и характеристиками землетрясений (магнитуда, эпицентрально расстояние и т.д.) [6, 7].

Поскольку наибольшую опасность для территории г. Владикавказ оказывает Владикавказский разлом, из базы данных было выбрано сейсмическое событие (26.03.97 17:31:00) с близкими к ожидаемым для указанного сценарного землетрясения и грунтовыми условиями, эквивалентными участкам исследуемой территории. Результаты расчетов представлены в табл. 3. Амплитуды колебаний A_1 на эпицентрально расстоянии (Δ_1) пересчитываются на заданное эпицентрально расстояние (Δ_2) по формуле

$$A_2 = A_1 e^{\alpha(\Delta_2 - \Delta_1)}. \quad (3)$$

В первом приближении коэффициент поглощения α можно считать постоянным, в общем случае он является функцией частоты колебаний. В расчетах использовалось значение α для территории Японии по данным [28].

Грунтовые условия станций-эквивалентов (KGS001 и KGS004) представлены на рис. 7. Грунтовые условия станции KGS001 характеризуются наличием глинистых грунтов мощностью порядка 8 метров, подстилаемых галечниками, что позволило выбрать в данную станцию эквивалентной станции «Музей» (MUS). Станция KGS004 была выбрана эквивалентной станции «Весна» (HOL) в силу наличия песчаных и глинистых грунтов мощностью порядка 20 метров, пески, присутствующие в разрезе, по своим свойствам близки к

глинам текучей консистенции, присутствующим в разрезе станции «Весна» (HOL). Таким образом, как видно из табл. 3, приращение балльности для грунтовых условий станции «Весна» после округления составит 1 балл.

Выделенные с помощью инструментально-расчетного метода записи сильных движений (рис. 8) могут быть также использованы в качестве воздействий при проектировании зданий и сооружений.

Анализ результатов расчета приращения интенсивности по комплексу методов и способов сейсмического микрорайонирования показывает, что величина приращений интенсивности относительно эталонных, неоднородных глинистых грунтов т/пластичной консистенции, к которым отнесена 8 балльная интенсивность, составит:

1. Для глинистых грунтов (мягкопластичные, текучей консистенции и т.д.) — +1 балл.
2. Для галечников с песчано-глинистым заполнителем > 30 % — 0 баллов.
3. Для галечников с песчано-глинистым заполнителем < 30 % — 1 балл.

На основе вышеизложенного была составлена карта-схема сейсмического микрорайонирования территории г. Владикавказ в масштабе 1:10 000 (рис. 8). На указанной карте-схеме были выделены зоны интенсивностью 7, 8 и 9 баллов.

К 7 балльной зоне отнесены участки, сложенные галечниками с песчано-глинистым заполнителем < 30 %. К 8 балльной зоне отнесены участки, сложенные глинистыми неоднородными грунтами (п/тв. консистенции и т.д.) и галечниками с песчано-глинистым заполнителем > 30 %; к 9 балльной зоне отнесены участки, сложенные глинистыми неоднородными грунтами (текучей консистенции и т.д.). Необходимо при этом отметить, что при фундировании на галечники с песчано-глинистым заполнителем < 30 % сейсмичность участка составит 7 баллов. Такие участки из-за малого их распро-

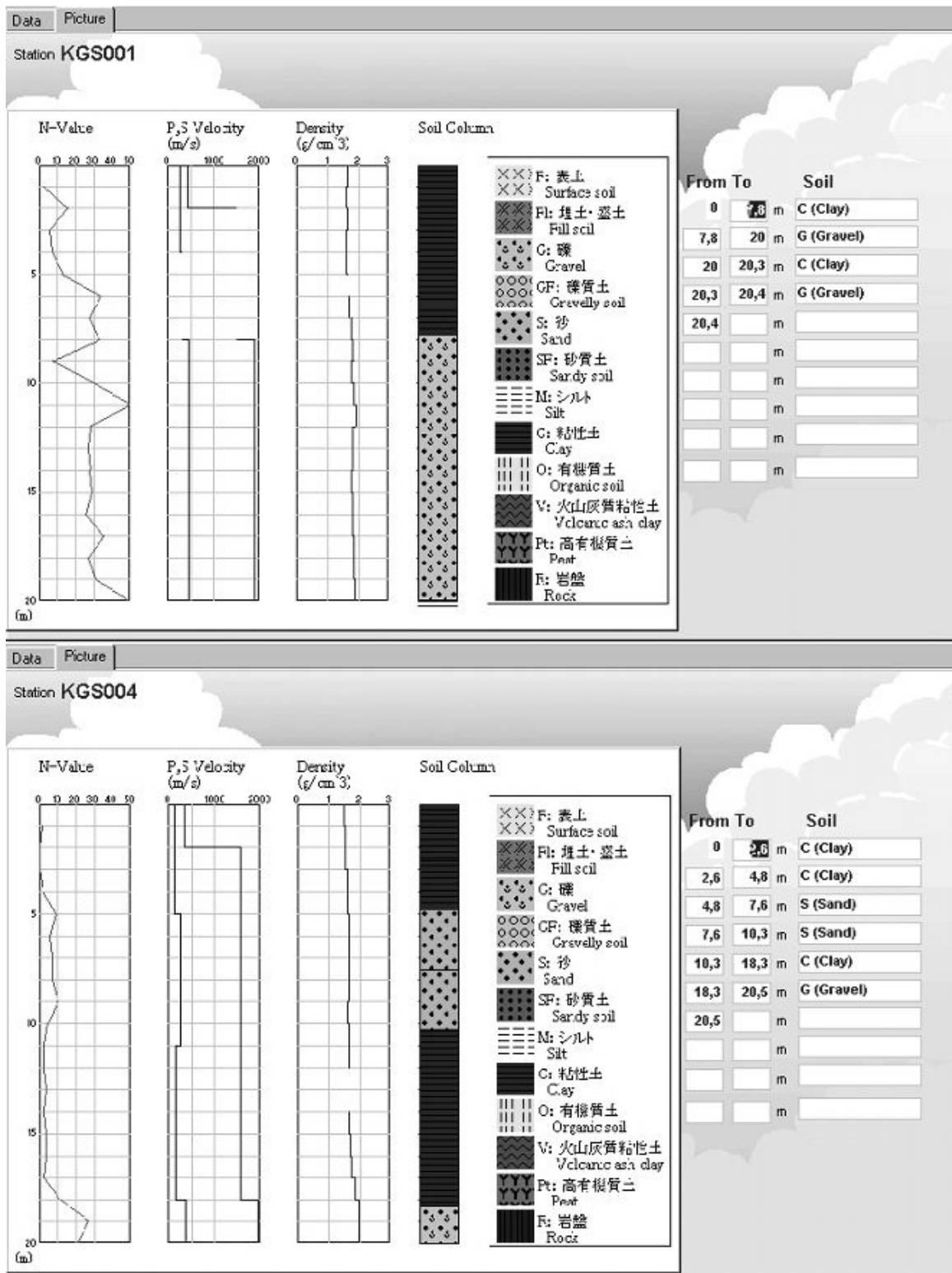
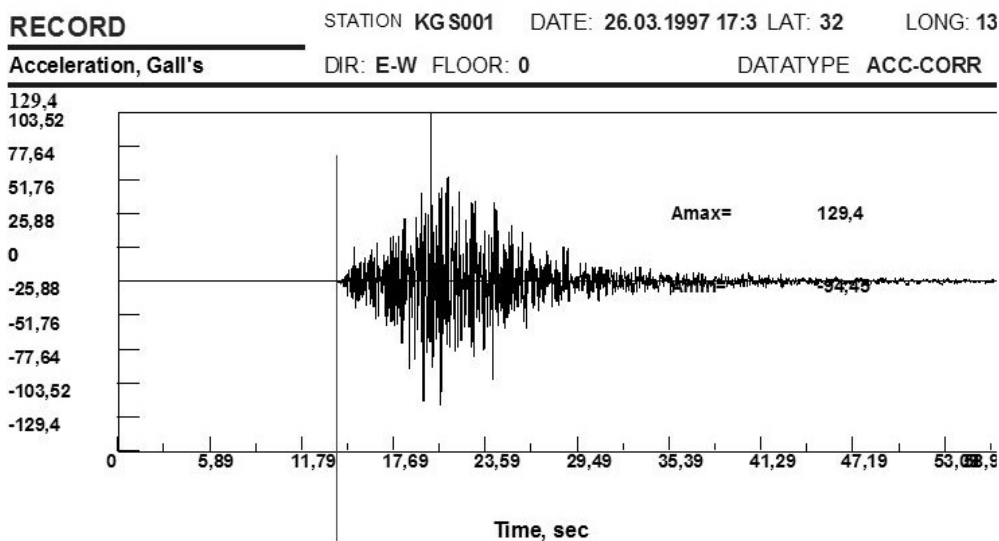
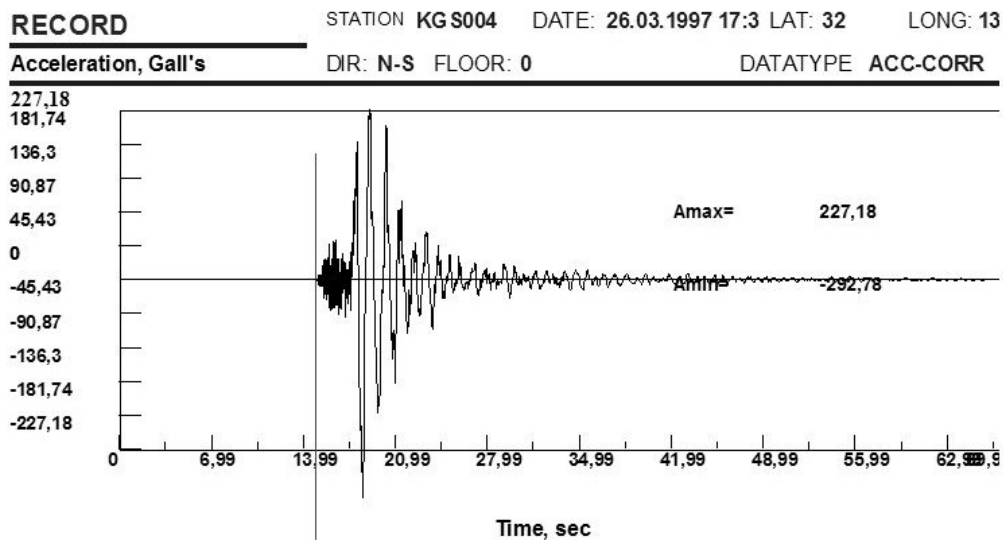


Рис. 7. Грунтовые условия расположения станций



Duration: **59** s Number of Samples: **5900** Threshold acceleration = 0,5 Gal
 N1: **1410** NDUR: **4489** Bracketed duration: **44,89**

a)



Duration: **70** s Number of Samples: **7000** Threshold acceleration = 0,5 Gal
 N1: **1489** NDUR: **5510** Bracketed duration: **55,1**

б)

Рис. 8. Акселерограммы, участок 1 (станция KGS001)

странения и сложности выделения точных границ по фондовым материалам были выделены в пойменной северной части города, но также могут присутствовать на отдельных участках 8-балльной зоны.

По ряду причин некоторые способы СМР, основанные на использовании мощных источников и предложенные в свое время одним из авторов работы, не были использованы. В то же время были использованы все способы, обязательные для применения как основные в процессе сейсмического микрорайонирования (способ регистрации слабых землетрясений и способ сейсмических жесткостей).

В процессе работы было выявлено отсутствие детальности в данных для построения полноценной или кондиционной карты инженерно-геологического районирования. В частности, содержание песчано-глинистого заполнителя было указано только для ряда скважин. Хотя уточнение инженерно-геологической карты территории в задачи работы не входило в целом ряде случаев такое уточнение было проведено с помощью современных геофизических методов и оборудования.

В связи с тем, что при проектировании и строительстве современных зданий обязательным условием является проведение детальных инженерно-геологических изысканий на конкретной площадке строительства, результаты настоящего исследования вполне достаточны для сейсмостойкого строительства.

Практическое применение настоящей карты сейсмического микрорайонирования, как и любой подобной карты, при сейсмостойком проектировании предполагает обязательное использование детальных данных инженерно-геологических изысканий на конкретной строительной площадке. При этом анализ полученных результатов позволяет непосредственно оценить уровень локальной сейсмической опасности на исследуемой строительной площадке.

Необходимо отметить, что в случае наличия не очень большой перекрывающей глинистой толщи и фундировании сооружения непосредственно на подстилающие галечники с песчано-глинистым заполнителем < 30 % сейсмичность участка может быть вполне обоснованно отнесена к 7 балльной, независимо от сейсмичности перекрывающей толщи. Подобный подход может быть применен и в случае фундирования сооруже-

ния на подстилающие галечники с песчано-глинистым заполнителем > 30 %. Однако сейсмичность участка может быть отнесена к 8 балльной, независимо от сейсмичности перекрывающих глинистых грунтов. В то же время в таких случаях необходимо учитывать величину бокового давления при сейсмических воздействиях.

На территории города выделены зоны с неблагоприятными для строительства грунтовыми условиями. К ним относятся территории с распространением просадочных глинистых грунтов и участков с наклоном рельефа, превышающим 15°. Перед строительством на просадочных грунтах необходимо проведение обязательных специальных мероприятий в виде их уплотнения с целью исключения в последующем просадок. На участках с крутыми склонами необходимо реализовать мероприятия, исключающие в последующем «сползание» или повреждение сооружения. Мероприятия для решения обеих проблем в инженерной практике хорошо известны, но могут и должны учитывать современные инженерные воззрения.

В последующем предполагается, исходя из появившихся возможностей, составление 1 %, 2 % и 10 % карт сейсмического микрорайонирования территории г. Владикавказа, что позволит осуществлять строительство различных по ответственности сооружений.

Таким образом, на основе использования современных научных подходов построена вероятностная карта сейсмического микрорайонирования территории города Владикавказа. Впервые использован инструментально-расчётный метод в форме способа инструментальных аналогий. Построенная карта, как уже отмечалось выше, полностью удовлетворяет задачам сейсмостойкого строительства.

Выводы

1. Создание вероятностных карт сейсмической опасности (1 %, 2 %, 5 %, 10 %) территории в масштабе 1:200 000 позволяет обеспечить одинаковую степень риска в пределах территорий, охватываемых каждой из карт, и является основой создания вероятностных карт сейсмического микрорайонирования.

2. На основе использования 5 % вероятностной карты сейсмической опасности территории Северной Осетии, соответствующей повторяемости 1000 лет, составлена карта сейсмического микрорайонирования терри-

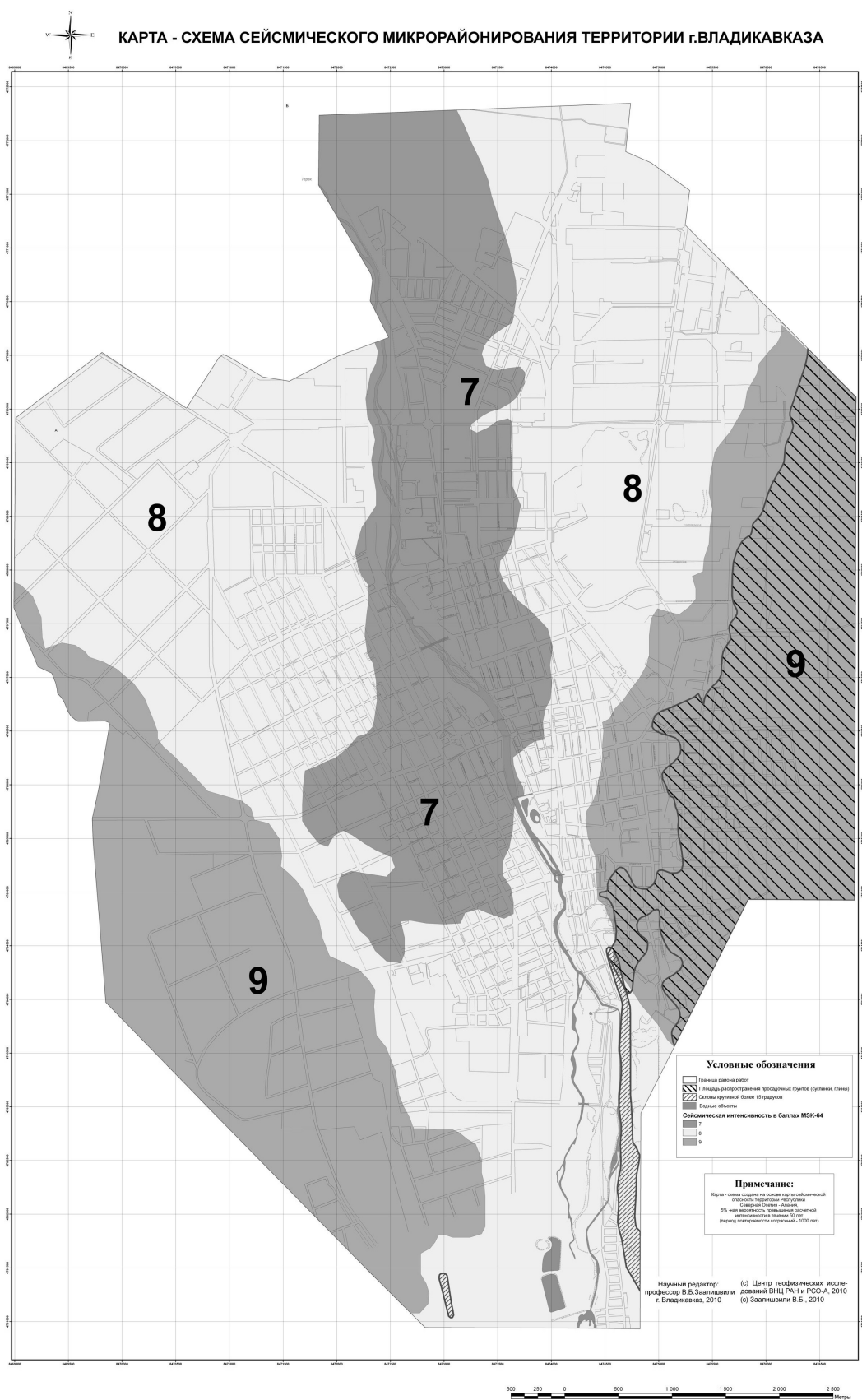


Рис. 9. Карта-схема сейсмического микрорайонирования территории г. Владикавказ

тории г. Владикавказа, предназначенная для массового строительства.

3. Выполнен расчет приращений сейсмической интенсивности по способу сейсмических жесткостей для различной глубины заложения фундамента. В расчетах также использовалась формула Максимова–Заалишвили, использование которой позволило однозначно установить зоны сейсмичности отдельных участков.

4. Выполнена обработка записей локальной сети сейсмологических наблюдений «Владикавказ» и определены приращения сейсмической интенсивности по способу землетрясений. Установлено значительное влияние грунтовых условий на амплитудно-частотную характеристику сопоставленных участков.

5. Выполнено определение приращений сейсмической интенсивности способом микросейсм. Способ спектральных H/V отношений позволяет определять преобладающие периоды колебаний грунтовой толщи участка. Способ микросейсм позволяет надежно дифференцировать различные типы грунтовых условий по признаку преобладающих частот/периодов. Это позволяет использовать данный способ в сочетании с основными инструментальными методами для уточнения карт инженерно-геологического районирования.

6. С помощью микросейсм выделены зоны в пределах одних и тех же категорий грунтов карты инженерно-геологического районирования. В пределах галечникового поля это, в первую очередь, связано с количеством песчано-глинистого заполнителя, непосредственно определяющего сейсмические свойства грунтов, которые регистрируются записью микросейсм.

7. Произведены расчеты, основанные на применении расчетного метода в виде способов МОВ, МКЭ и NERA. В качестве входных акселерограмм использовались акселерограммы реальных землетрясений, три синтетические акселерограммы, полученные стохастическим методом для Сунженской зоны ВОЗ (западная ветвь) и для Владикавказского разлома в силу непосредственной близости к черте города — акселерограмма, полученная по программе FINSIM.

8. Использован новый инструментально-расчетный метод в виде способа инструментальных аналогий. Использование метода основано на применении базы данных сильных движений, включающей почти 50 000 записей

сильных и разрушительных землетрясений. Для расчетов подбирались записи землетрясений на участках с близкими для исследуемого участка грунтовыми условиями и характеристиками землетрясений (магнитуда, эпицентральное расстояние и т.д.).

Литература

1. Заалишвили В. Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. М.: ОИФЗ РАН, 2000. 367 с.
2. Заалишвили В. Б., Березко А. Е. Представление оценок сейсмической опасности урбанизированных территорий с помощью ГИС // Международный симпозиум «Сейсмостойкость и инженерная сейсмология». 19–21 мая. Тбилиси, 1999. 79 с.
3. Заалишвили В. Б., Джавришвили И. А., Отлиаишвили М. Г. Расчет нелинейных колебаний грунтовой толщи с помощью численного способа МКЭ «LIMIT-1» сейсмического микрорайонирования // Труды IV Национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию. Сочи, 2001. 44 с.
4. Ansal A., Erdik M., Studer J., Springman S., Laue J., Buchheister J., Giardini D., Faeh D., Koksal D. Seismic microzonation for earthquake risk mitigation in Turkey // In: Proceedings of the 13th World Conference of Earthquake Engineering, Vancouver, BC. 2004. P. 1428.
5. Ansal A., Tönük G., Kurtulue A. Microzonation for Earthquake Scenarios (Ch. 2) // Earthquake Engineering in Europe, ed. By M. Garevski, A. Ansal. Springer, 2010. P. 125–144.
6. Заалишвили В. Б. Основы сейсмического микрорайонирования. ВНИЦ РАН и РСО-А. Владикавказ, 2006. 242 с.
7. Заалишвили В. Б., Джаммадзе А. К., Мельков Д. А., Чотчаев Х. О., Дзеранов Б. В. и др. Отчет о НИР по теме: Оценка сейсмической опасности (сейсмическое микрорайонирование) территорий городов и населенных пунктов Республики Северная Осетия – Алания (первый этап). 3.2. Сейсмическое микрорайонирование территории центральной части г. Владикавказа. Том 3, Книга 1, Книга 3, Книга 4, Том 6. Труды ГФЦЭД ВНИЦ РАН и РСО-А (ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А). Владикавказ, 2007. 268 с.
8. Заалишвили В. Б., Рогожин Е. А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального районирования и сейсмического микрорайонирования // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. №3. С. 31–43.
9. Zaalishvili V. B., Rogozhin E. A. Assessment of Seismic Hazard of Territory on Basis of Modern Methods of Detailed Zoning and Seismic

- Microzonation // The Open Construction and Building Technology Journal. 2011. Vol. 5. P. 30–40.
10. *Заалишвили В. Б., Дзеранов Б. В., Габараев А. Ф.* Оценка сейсмической опасности территории и построение вероятностных карт // Геология и геофизика Юга России. 2011. № 1. С. 47–57.
 11. *Заалишвили В. Б.* Инструментальный метод сейсмического микрорайонирования. Владикавказ: ГНС РСО-А, 1997. 76 с.
 12. *Заалишвили В. Б., Отинашвили М. Г.* Анализ сильных движений толщи грунта с использованием численных методов // Теория сооружений и сейсмостойкость. ИСМИС им. К. С. Завриева АН Грузии № 1. Тбилиси, 2000. С. 67–71.
 13. *Заалишвили В. Б., Отинашвили М. Г.* Расчет колебаний нелинейной, поглощающей грунтовой толщи с помощью способа многократно-отраженных волн сейсмического микрорайонирования // Труды IV Национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию. Сочи, 2001. 43 с.
 14. *Заалишвили В. Б., Заалишвили З. В., Отинашвили М. Г., Шенгелия Н. О.* Метод рейтинговой оценки территории для целей страхования // Труды IV Национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию. Сочи, 2001. 166 с.
 15. *Заалишвили В. Б., Мельков Д. А., Отинашвили М. Г.* Использование метода конечных элементов при оценке сейсмической опасности горных территорий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. № 3. С. 49–52.
 16. *Musson R.* Probabilistic seismic hazard maps for the North Balkan region // Annali di Geofisica. 1999. Vol. 42. No. 6. P. 1109–1124.
 17. *Рогожин Е. А., Гурбанов А. Г., Мараханов А. В., Овсяченко А. Н., Спиридонов А. В., Бурканов Е. Е.* Особенности проявлений землетрясений, вулканизма и катастрофических пульсаций ледников в Северной Осетии в голоцене // Вестник Владикавказского научно-го центра. 2004. Т. 4. № 3. С. 41–50.
 18. *Напетваридзе Ш. Г., Калмахелидзе С. С., Абашидзе Г. Г., Одишария А. В.* Сейсмическое микрорайонирование территории г. Орджоникидзе // Труды ИСМиС АН ГССР. Тбилиси, 1970. 182 с.
 19. *Шарапов В. Г. и др.* Отчет о сейсмическом микрорайонировании территории г. Владикавказа / Машинопись. Пятигорск, 1991. 127 с.
 20. Республиканские строительные нормы // Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ. РСН 60-86. Госстрой РСФСР.
 21. Республиканские строительные нормы // Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ. РСН 65-87. Госстрой РСФСР.
 22. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства. М.: Госстрой СССР, 1985. 72 с.
 23. *Заалишвили В. Б.* Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок. М.: Наука, 2009. 350 с.
 24. *Заалишвили В. Б., Мельков Д. А.* Способ сейсмического микрорайонирования // Патент Российской Федерации №2389044 от 10 мая 2010 г.
 25. *Заалишвили В. Б., Мельков Д. А., Бурдзиева О. Г.* Определение сейсмического воздействия на основе конкретной инженерно-сейсмологической ситуации района // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2010. № 1. С. 35–39.
 26. *Nakamura Y. A.* Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface // QR of RTRI. 1989. Vol. 30. No. 1. P. 25–33.
 27. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. SESAME European research project WP12 Deliverable D23.12. European Commission – Research General Directorate. December 2004.
 28. *Окамото Ш.* Сейсмостойкость инженерных сооружений. М.: Стройиздат, 1980. 342 с.

Ключевые слова: сейсмическая опасность, влияние грунтовых условий на сейсмический эффект, сейсмическое микрорайонирование.

Статья поступила 19 января 2012 г.

Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ

© Заалишвили В. Б., Мельков Д. А., Габеева И. Л., Дзеранов Б. В., Кануков А. С., Шепелев В. Д., 2012