



Геофизический институт – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук»

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ: ДЕТАЛЬНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ**

**д.ф.-м.н., проф. В.Б. Заалишвили**



С  
К  
П  
О  
О  
Р  
Т  
Р  
Т  
Т  
4.4 Расчетную сейсмичность площадки строительства следует устанавливать по результатам сейсмического микрорайонирования (СМР), выполняемого в составе инженерных изысканий, с учетом сейсмотектонических, грунтовых и гидрогеологических условий.

Сейсмичность площадки строительства объектов, использующих карту А, при отсутствии данных СМР допускается предварительно определять по таблице 1.

Сейсмичность площадки строительства объектов, использующих карту А, при отсутствии данных СМР допускается предварительно определять по таблице 1.

4.5 Площадки строительства, в пределах которых отмечены тектонические нарушения, перекрытые чехлом рыхлых отложений мощностью менее 10 м, участки с крутизной склонов более 15°, с оползнями, обвалами, осыпями, карстом, селями, участки, сложенные грунтами III и IV категорий являются неблагоприятными в сейсмическом отношении.

При необходимости строительства зданий и сооружений на таких площадках следует принимать дополнительные меры по укреплению их оснований, усилению конструкций и инженерной защите территории от опасных геологических процессов.

4.6 Тип грунта и его конструктивные особенности и глубина залегания и

4.4 Расчетную сейсмичность площадки строительства зданий повышенного уровня ответственности при нормативной сейсмичности района строительства 6 и более баллов следует устанавливать по результатам сейсмического микрорайонирования (СМР), выполняемого в составе инженерных изысканий, с учетом сейсмотектонических, грунтовых и гидрогеологических условий.

Сейсмичность площадки строительства объектов, использующих карту А, при отсутствии СМР следует определять по таблице 1.

Проектирование зданий и сооружений с системами сейсмоизоляции рекомендуется выполнять при сопровождении компетентной организации.

4.8 С целью получения достоверной информации о работе конструкций и прилегающих к зданиям и сооружениям колебаниях грунтов при интенсивных землетрясениях в проектах зданий и сооружений повышенного уровня ответственности, перечисленных в позиции 1 таблицы 3, следует предусматривать установку станций наблюдения за динамическим поведением конструкций и прилегающих грунтов.

решение о высоте карты  $\gamma$  или  $\gamma_c$ , для оценки нормативной сейсмичности района при проектировании объекта повышенного уровня ответственности, принимается Заказчиком по представлению генерального проектировщика, при необходимости, основываясь на заключении компетентной организации.

Для уточнения сейсмичности района строительства объектов повышенной ответственности, перечисленных в позиции 1 таблицы 3, дополнительно проводят специализированные сейсмологические и сейсмотектонические исследования.

4.4 Расчетную сейсмичность площадки строительства зданий повышенного уровня ответственности при нормативной сейсмичности района строительства 6 и более баллов следует устанавливать по результатам сейсмического микрорайонирования (СМР), выполняемого в составе инженерных изысканий.

основании на локальном участке категория грунта по сейсмическим свойствам должна быть определена по результатам СМР.

4.7 Системы сейсмоизоляции следует предусматривать с применением одного или нескольких типов сейсмоизолирующих и (или) демпфирующих устройств, в зависимости от конструктивного решения и назначения сооружения (жильные и общественные здания, архитектурные и исторические памятники, промышленные сооружения и др.), вида строительства – новое строительство, реконструкция, усиление, а также от сейсмологических и грунтовых условий площадки.

Здания и сооружения с применением систем сейсмоизоляции следует возводить, как правило, на грунтах категорий I и II по сейсмическим свойствам. В случае

Таблица 1 – Расчетная сейсмичность площадки строительства

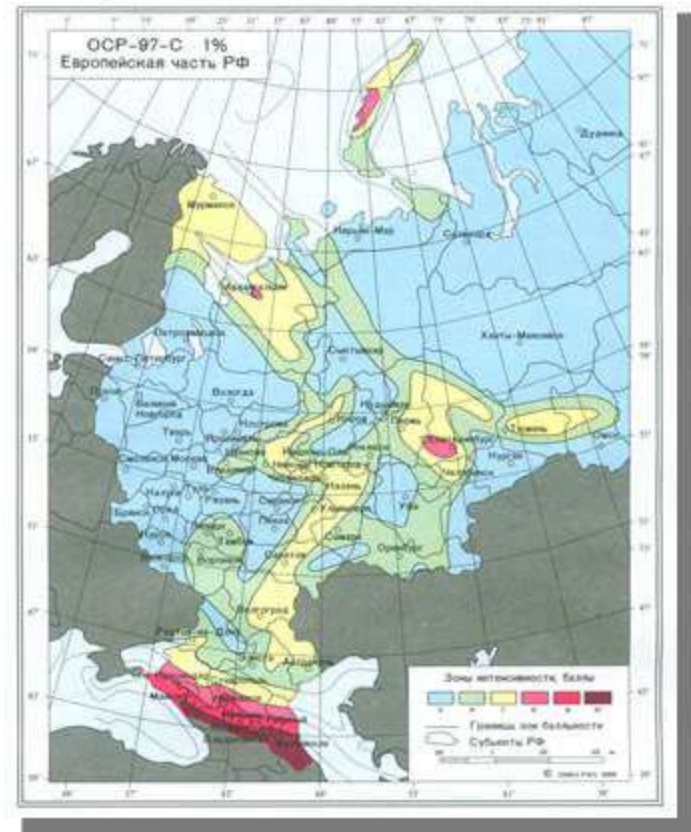
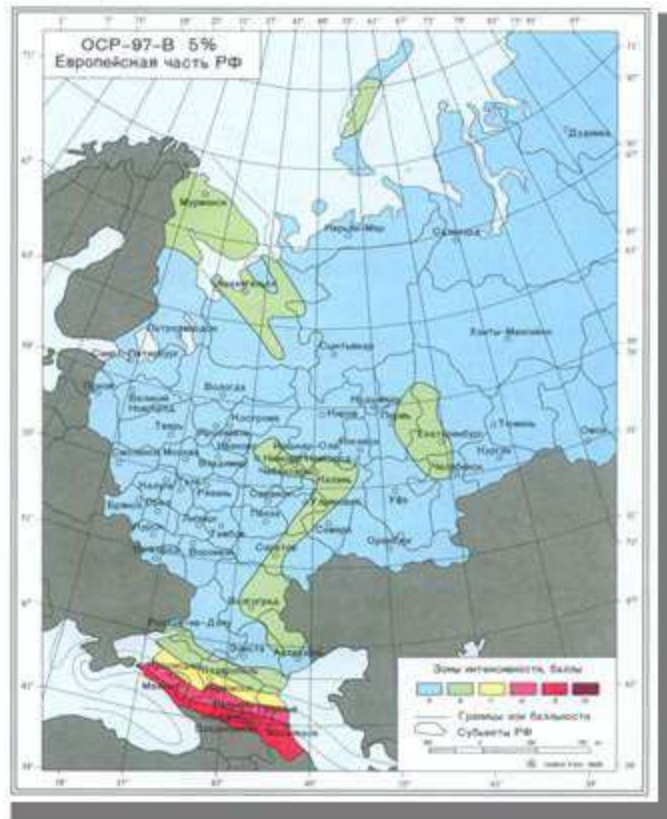
Категория грунта по сейсмическим свойствам	Описание грунта	Характеристика сейсмических свойств грунтов		Расчетная сейсмичность площадки при сейсмичности района, баллы			
		Сейсми- ческая жесткость $\rho \cdot V_p$ , т/см <sup>3</sup> -м/с	Скорость поперечных волн $V_s$ , м/с Отношение скоростей продольных и поперечных волн $V_p/V_s$	6	7	8	9
I	Скальные грунты (в том числе вечномерзлые и вечномерзлые оттаявшие) неветрелые и слабоветрелые; крупнообломочные грунты плотные, маловлажные из магматических пород, содержащие до 30 % песчано-глинистого заполнителя; ветрелые и сильноветрелые скальные и дисперсные твердомерзлые (многолетнемерзлые) грунты при температуре минус 2 °С и ниже при строительстве и эксплуатации по принципу I (сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии)	>1500	>700 1,7–2,2	–	6	7	8
II	Скальные грунты ветрелые и сильноветрелые, в том числе вечномерзлые, кроме отнесенных к категории I; крупнообломочные грунты, за исключением отнесенных к категории I; пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные и влажные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности маловлажные; глинистые грунты с показателем консистенции $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e < 0,9$ для глины и суглинков и $e < 0,7$ – для супесей; вечномерзлые нескальные грунты пластичномерзлые или сыпучемерзлые, а также твердо-мерзлые при температуре выше минус 2 °С при строительстве и эксплуатации по принципу I	350– 1500	250–700  1,7–2,2 (не водонасы- щенные) 2,2–3,5 (водонасы- щенные)	–	7	8	9

01 Продолжение таблицы 1

Категория грунта по сейсмическим свойствам	Описание грунта	Характеристика сейсмических свойств грунтов		Расчетная сейсмичность площадки при сейсмичности района, баллы			
		Сейсми- ческая жесткость $\rho \cdot V_p$ г/см <sup>3</sup> ·м/с	Скорость поперечных волн $V_s$ , м/с Отношение скоростей продольных и поперечных волн $V_p/V_s$	6	7	8	9
III	Пески рыхлые независимо от степени влажности и крупности; пески гравелистые, крупные и средней крупности, плотные и средней плотности водонасыщенные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности влажные и водонасыщенные; глинистые грунты с показателем консистенции $I_L > 0,5$ ; глинистые грунты с показателем консистенции с $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e \geq 0,9$ для глин и суглинков и $e \geq 0,7$ – для супесей; вечномерзлые дисперсные грунты при строительстве и эксплуатации по принципу II (допускается оттаивание грунтов основания)	200–350	150–250 3,5–7	7	8	9	>9
IV	Наиболее динамически неустойчивые разновидности песчано- глинистых грунтов, указанные в категории III, склонные к разжижению при сейсмических воздействиях	<200	60–150 7–15	7*	8*	9*	>9*

СП 14.13330.2014

## Сейсмическая опасность Европейской части РФ



**Сейсмическая опасность территории.****Детальное сейсмическое районирование*****Идентификация и параметризация очаговых зон землетрясений******Определение параметров соотношения повторяемости***

$$\log N = a - bM, \quad (1)$$

***Оценка эффекта землетрясения***

для малых землетрясений:

$$I = 1,5M_s - 3,4 \lg \sqrt{(\Delta^2 + h^2)} + 3,0 \quad (2)$$

для больших событий :

$$I = 1,5M_s - 4,7 \lg \sqrt{(\Delta^2 + h^2)} + 4,0 \quad (3)$$

где  $I$  - интенсивность;  
 $M$  – магнитуда по поверхностным волнам;  
 $\Delta$  – эпицентральное расстояние;  
 $h$  – глубина очага.

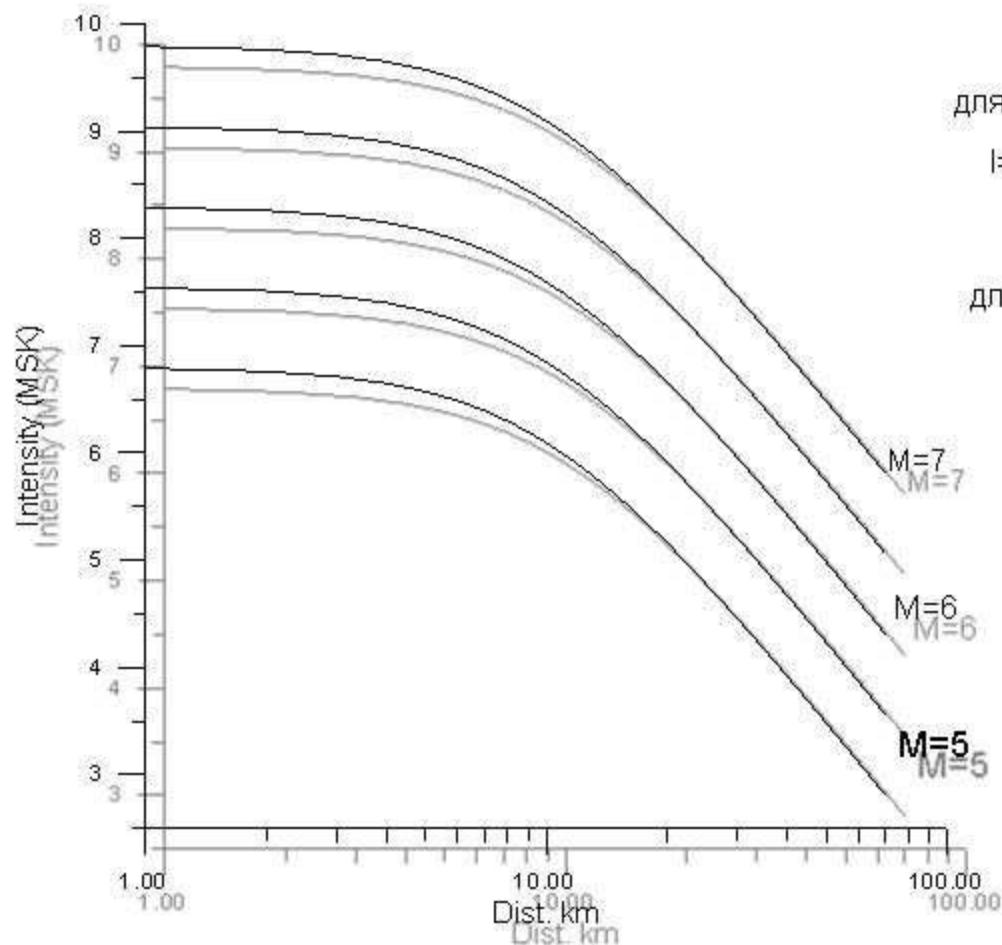
$$\log PNA = 0,72 + 0,44 M - \log R - 0,00231R + 0,28 p, \quad (4)$$

и

$$R = (D^2 + 4,52)^{1/2}$$

где:  $PNA$  - пиковое горизонтальное ускорения,  $cm/c^2$ ;  
 $M$  - магнитуда рассчитанная по поверхностной волне;  
 $D$  - гипоцентральное расстояние, км;  
 $p = 0$  для 50 процентной обеспеченности;  
 $p = 1$  для 84 процентной обеспеченности.

## Модель затухания для интенсивности (шкала MSK)



для малых землетрясений:

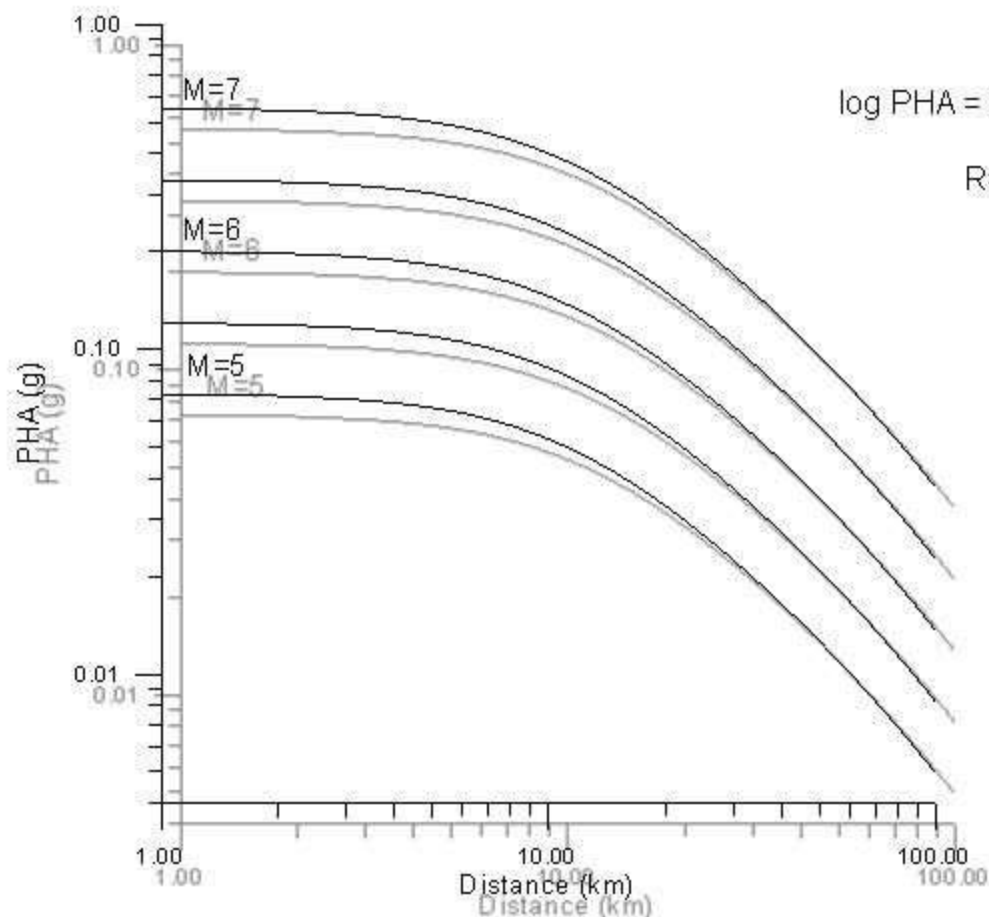
$$I = 1.5M_s - 3.4 \lg \sqrt{(\Delta^2 + h^2)} + 3.0$$

для больших событий :

$$I = 1.5M_s - 4.7 \lg \sqrt{(\Delta^2 + h^2)} + 4.0$$



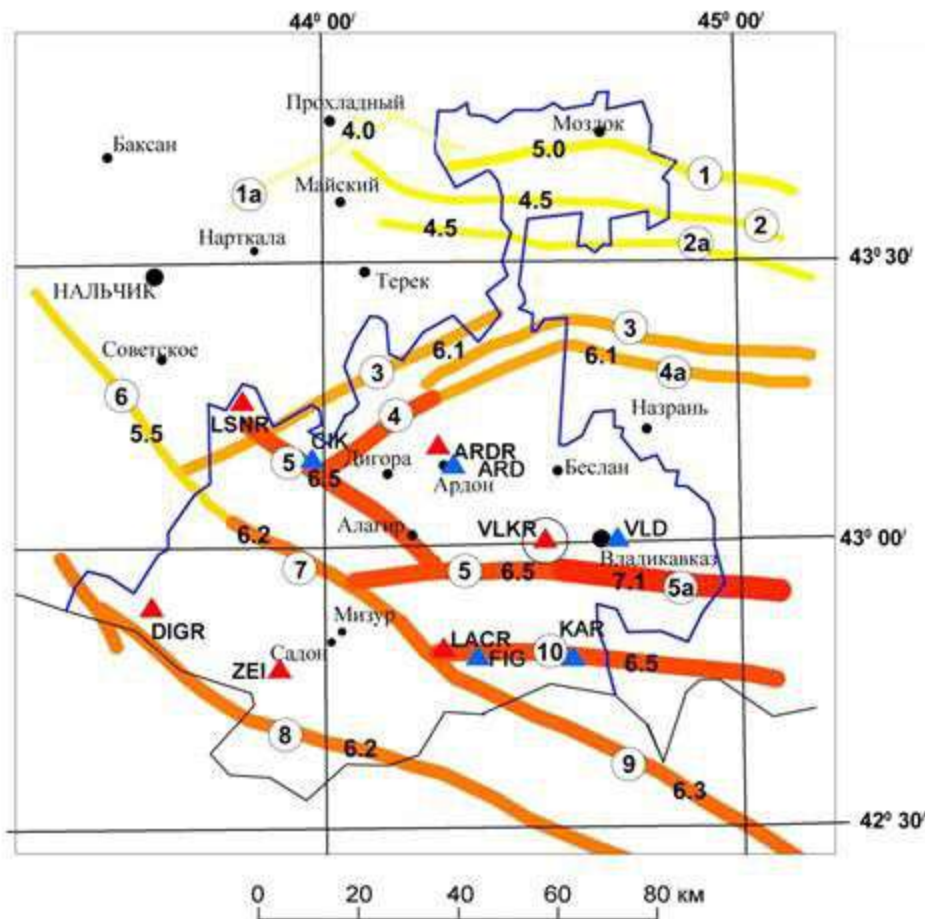
## Модель затухания для пикового горизонтального ускорения (РНА)



$$\log \text{PHA} = 0.72 + 0.44 M - \log R - 0.00231 + 0.28 p$$

$$R = (D^2 + 4.5^2)^{1/2}$$

## Зоны ВОЗ территории РСО-А



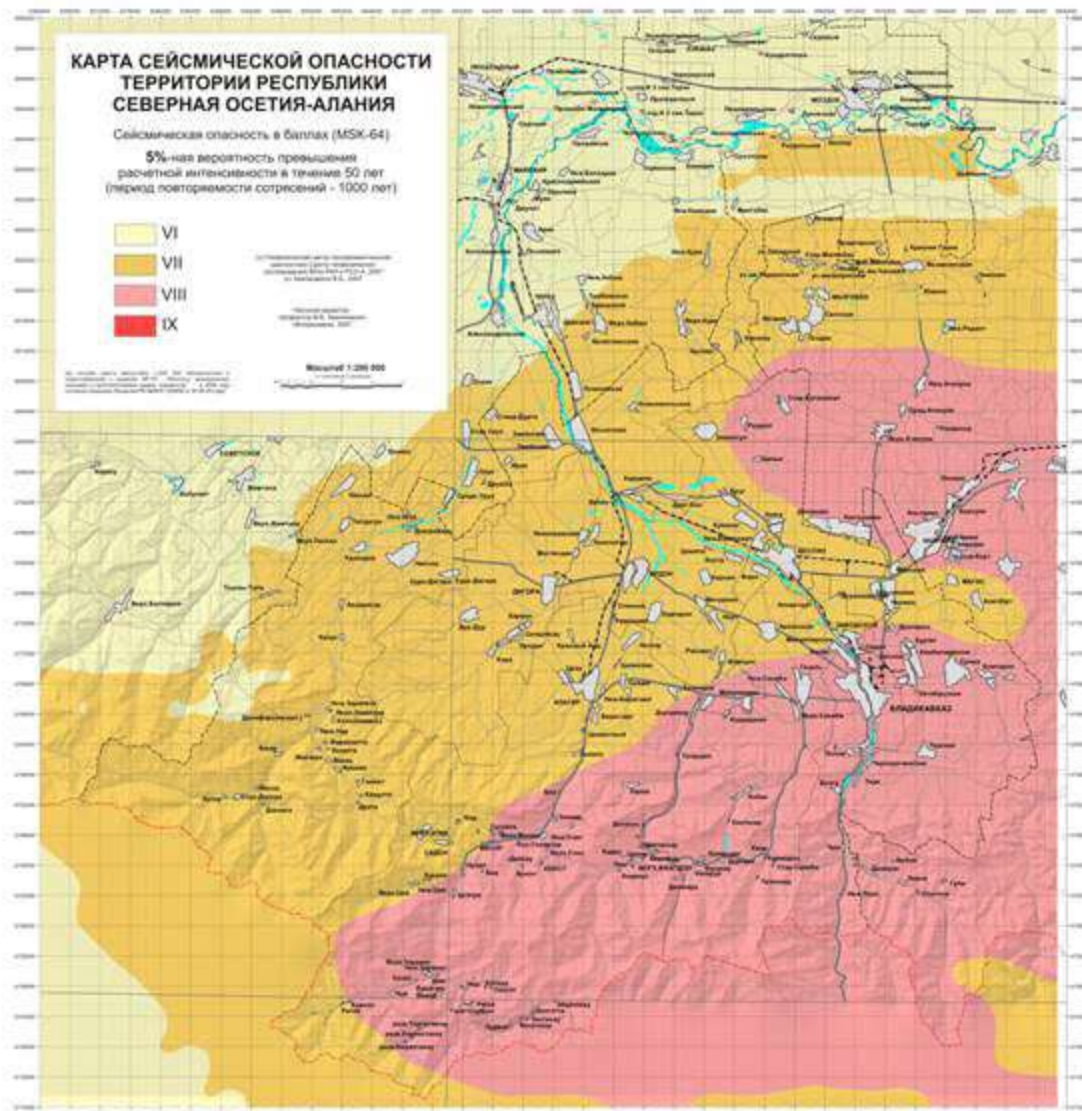
Условные обозначения

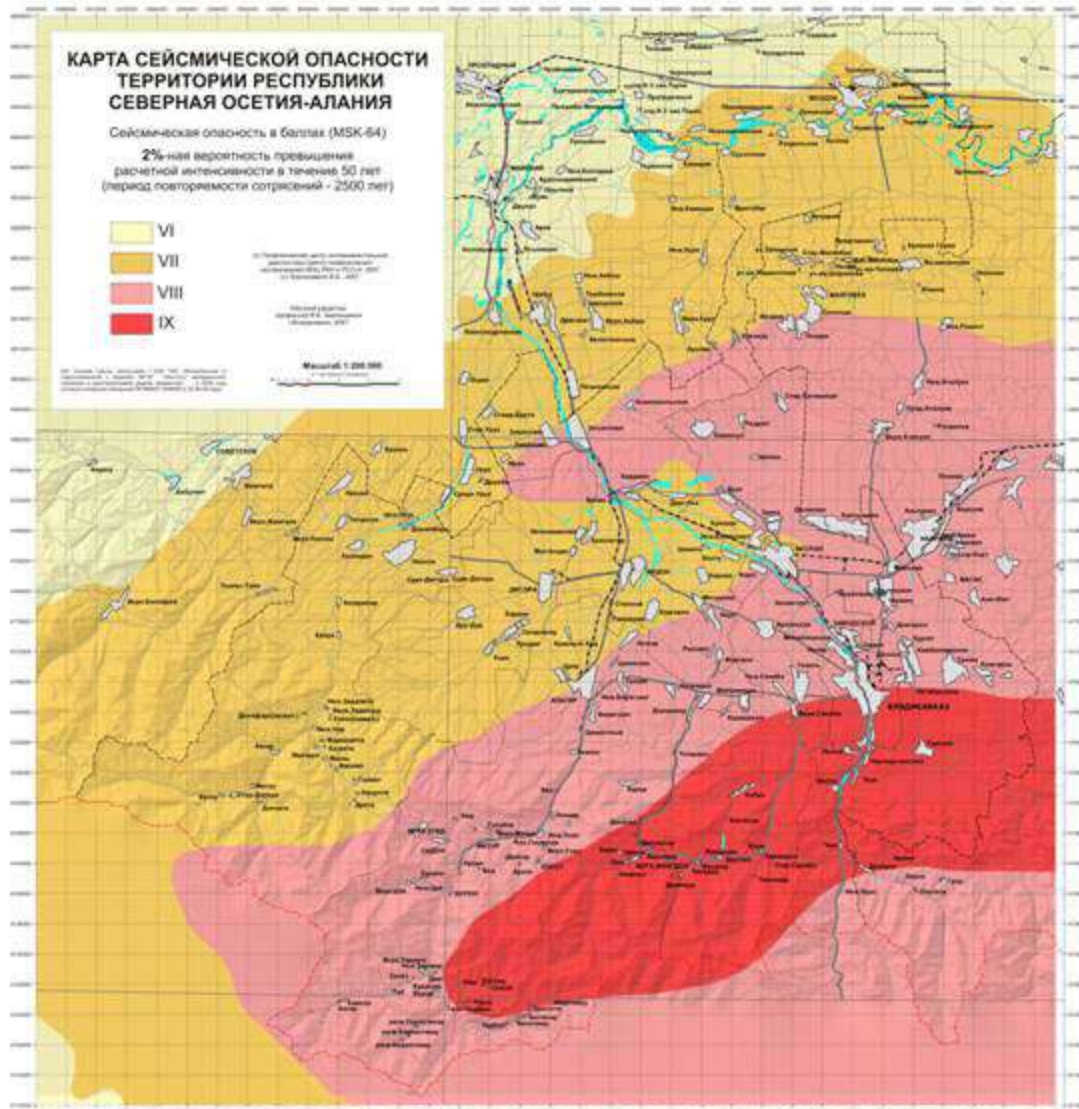
▲ - станции ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А

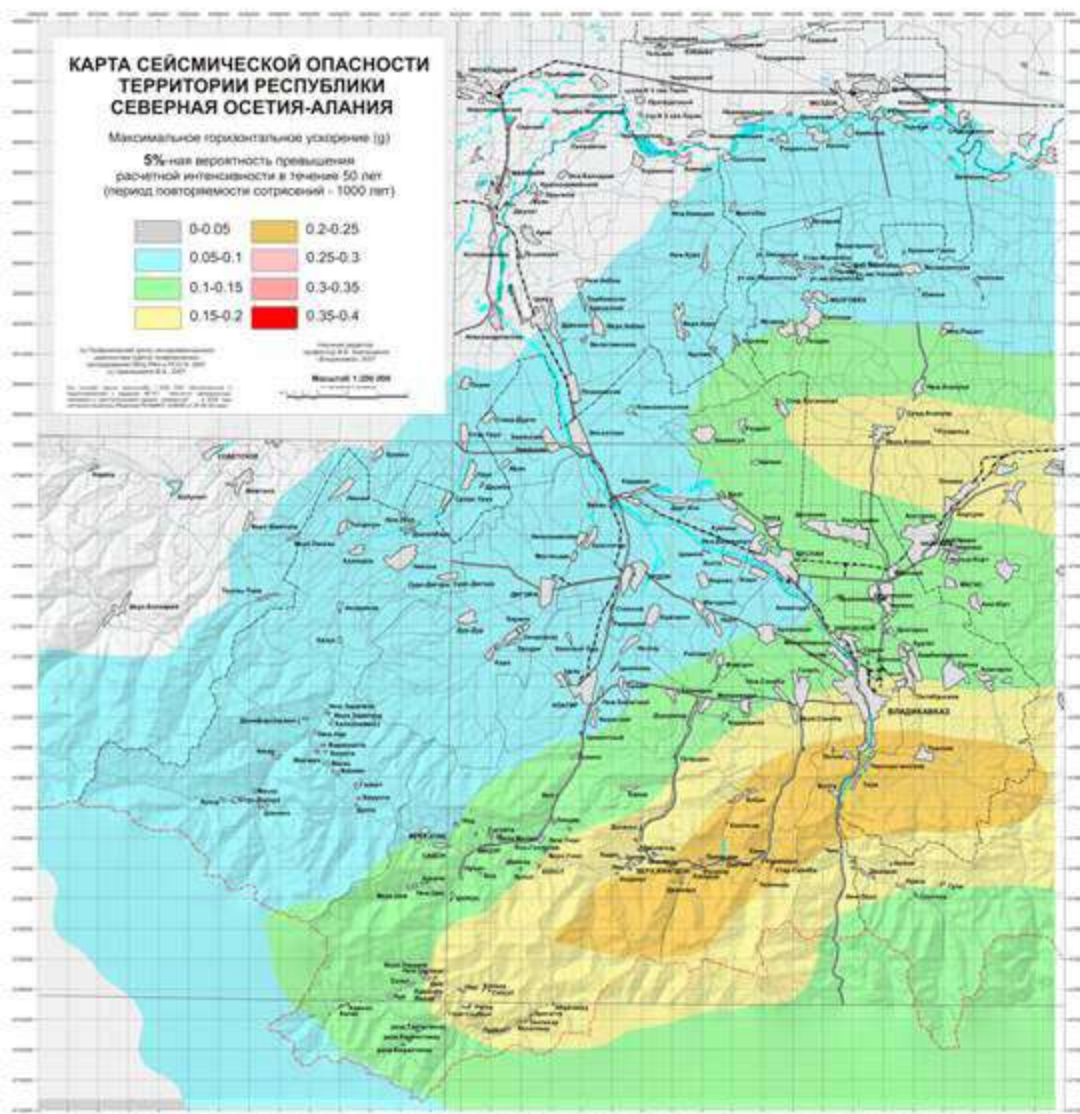
▲ - станции ГС РАН

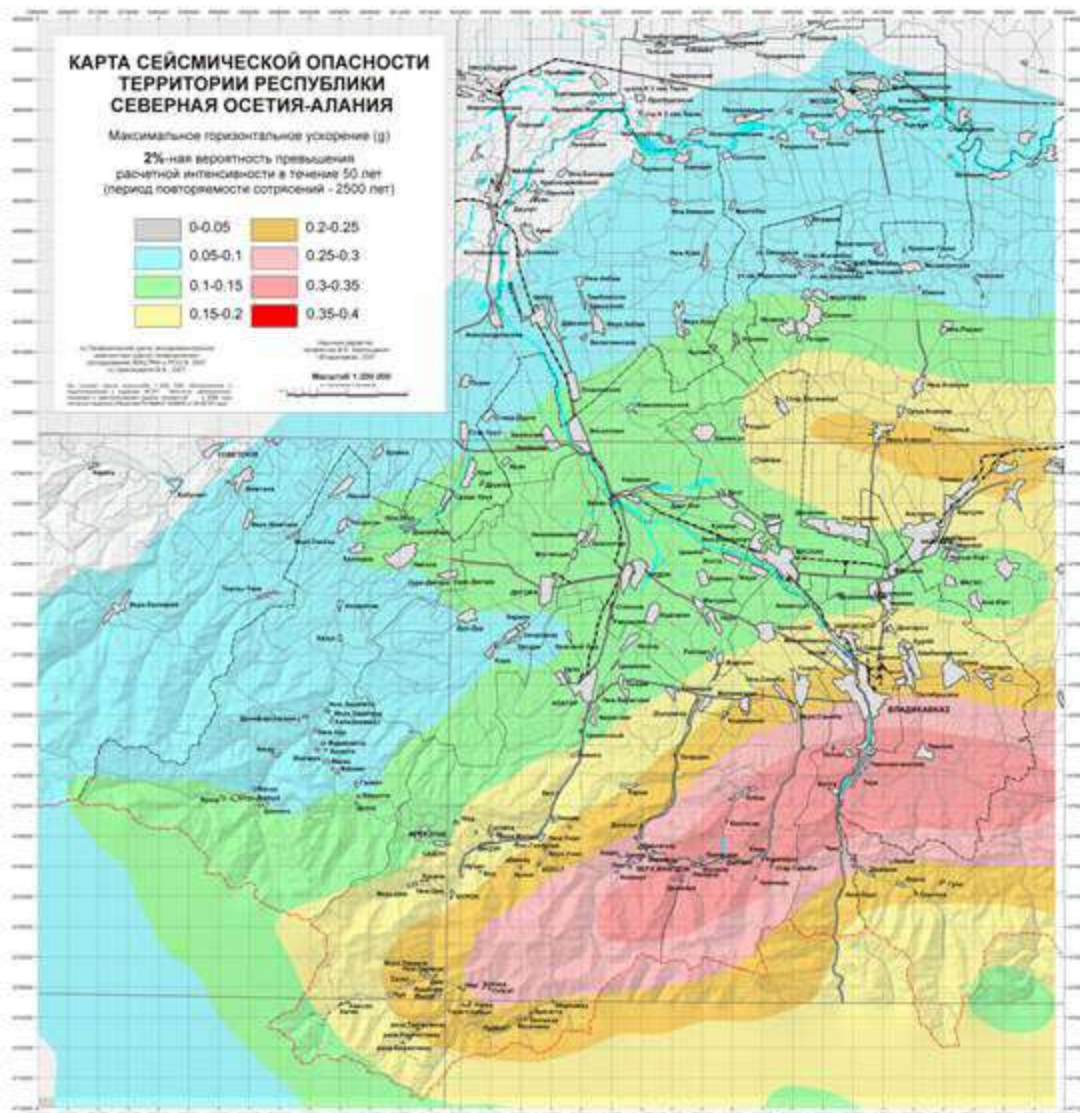
Зоны ВОЗ и их характеристики для территории Республики Северная Осетия-Алания (составил Е.А. Рогожин)

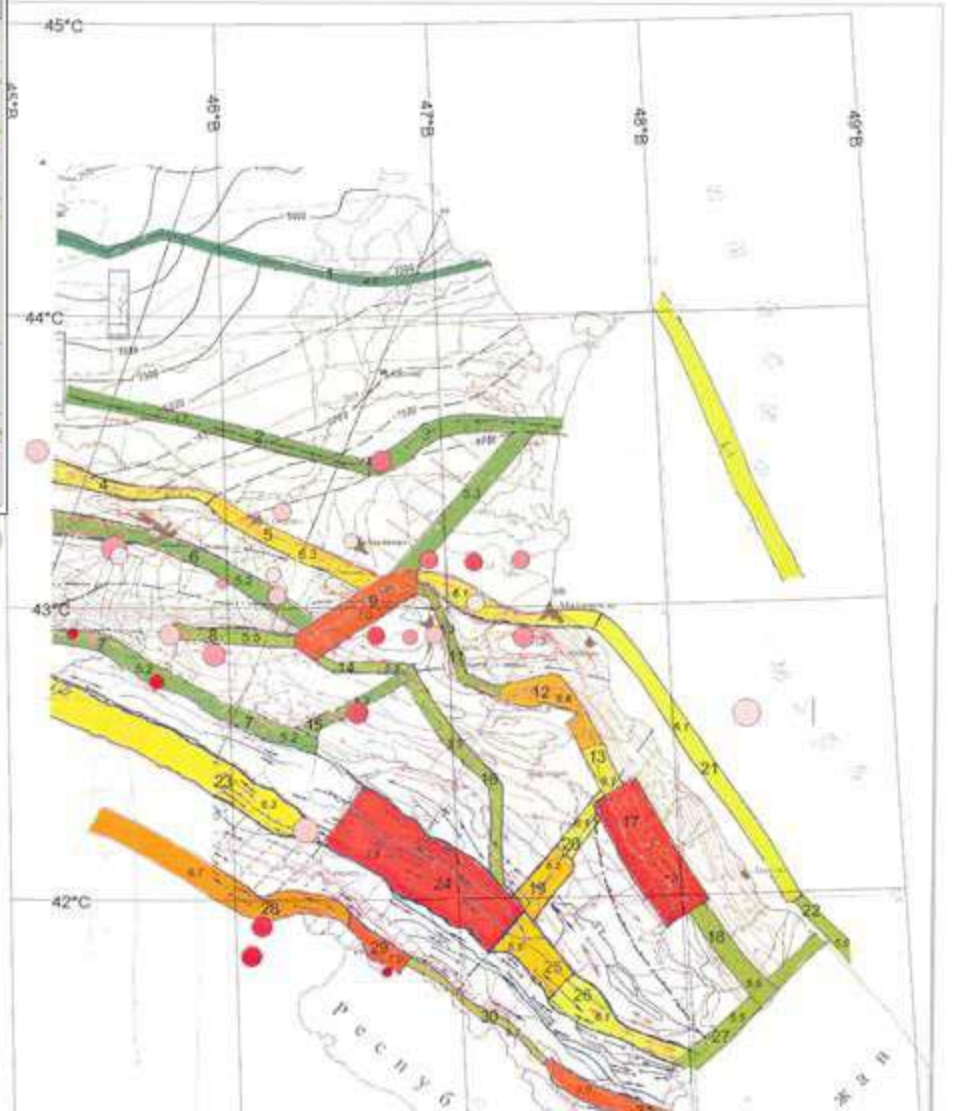
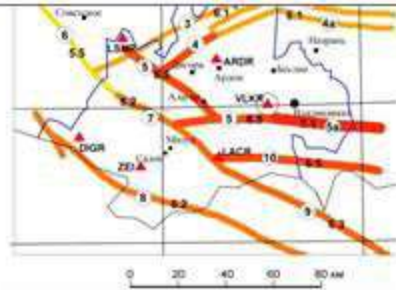
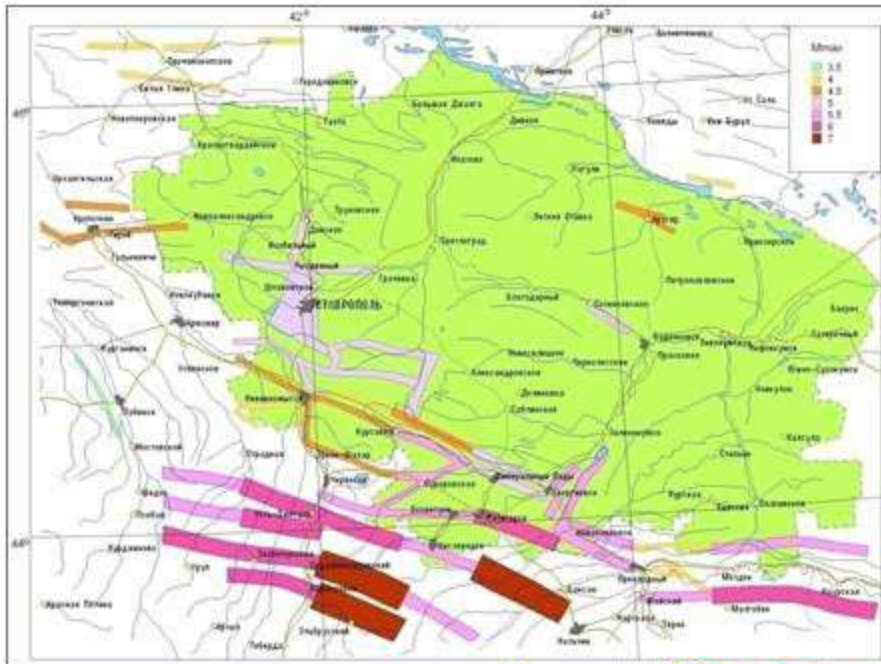
№	Зона ВОЗ	Магнитуда	Н, км	Кинемат.
1	Моздокская восточная	5.0	10	взброс
1a	Моздокская западная	4.0	5	сдвиг
2	Терская	4.5	5	взброс
3	Сунженская северная	6.1	15	взброс
4	Сунженская южная (западная ветвь)	6.5	15	сдвиг
4a	Сунженская южная (восточная ветвь)	6.1	15	взброс
5	Владикавказская (западная ветвь)	6.5	15	взброс
5a	Владикавказская (восточная ветвь)	7.1	20	взброс
6	Нальчикская	5.5	10	сдвиг
7	Мизурская	6.2	15	сдвиг
8	Главного хребта	6.2	15	взброс
9	Бокового хребта	6.3	15	взброс
10	Кармадонская	6.5	15	взброс

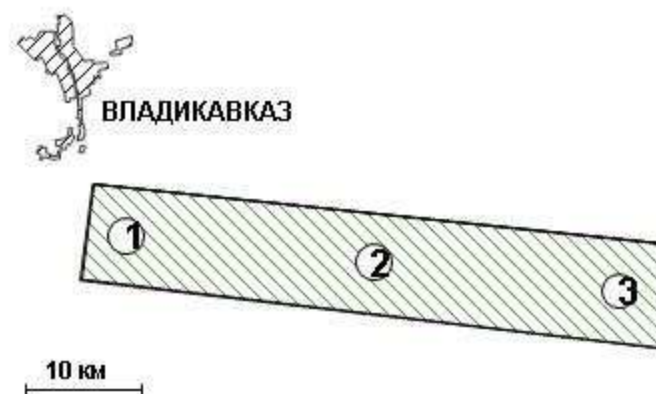
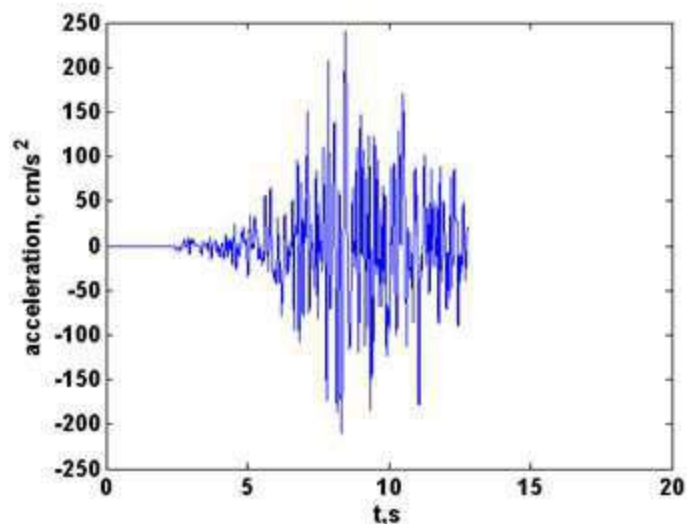
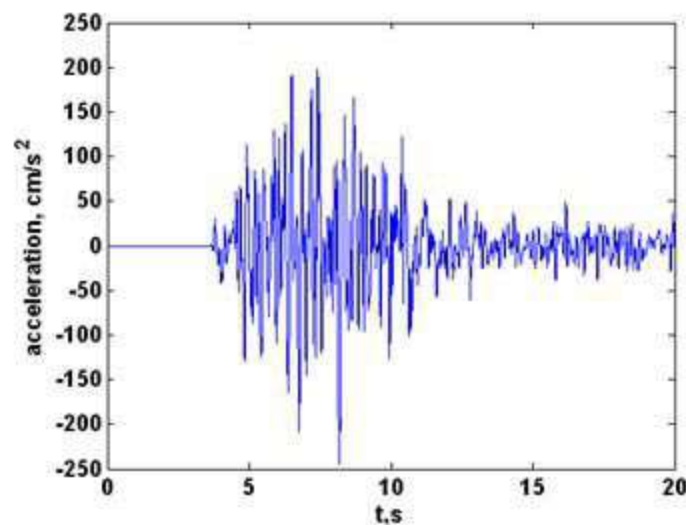
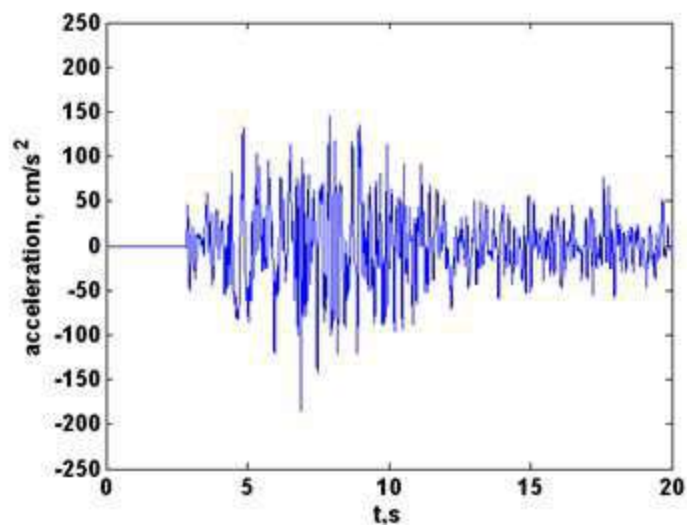






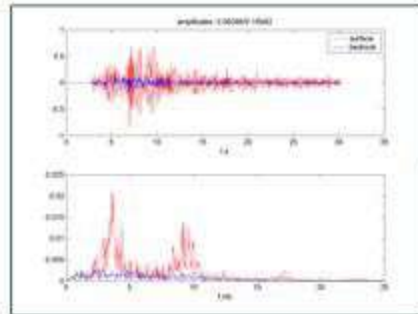
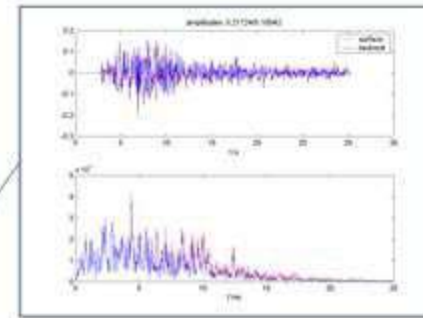
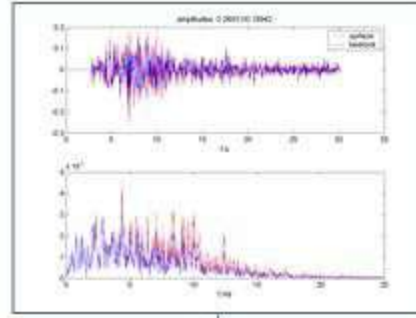
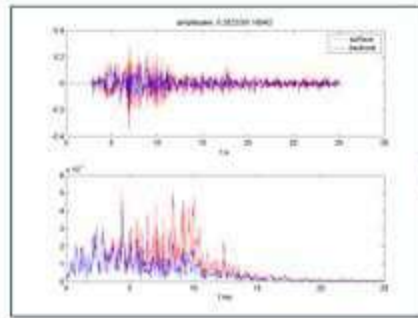




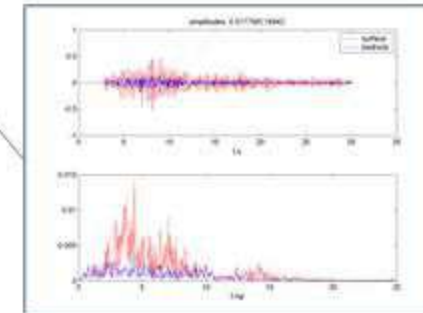
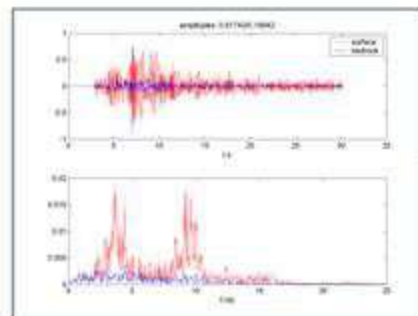
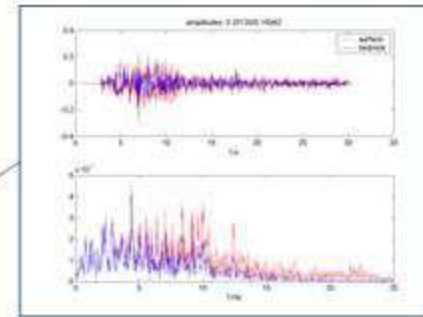


Синтетические акселерограммы, при различном положении очагов:  
а – западная часть разлома; б – середина разлома; в – восточная часть разлом; г – схема  
расположения очагов сценарных землетрясений



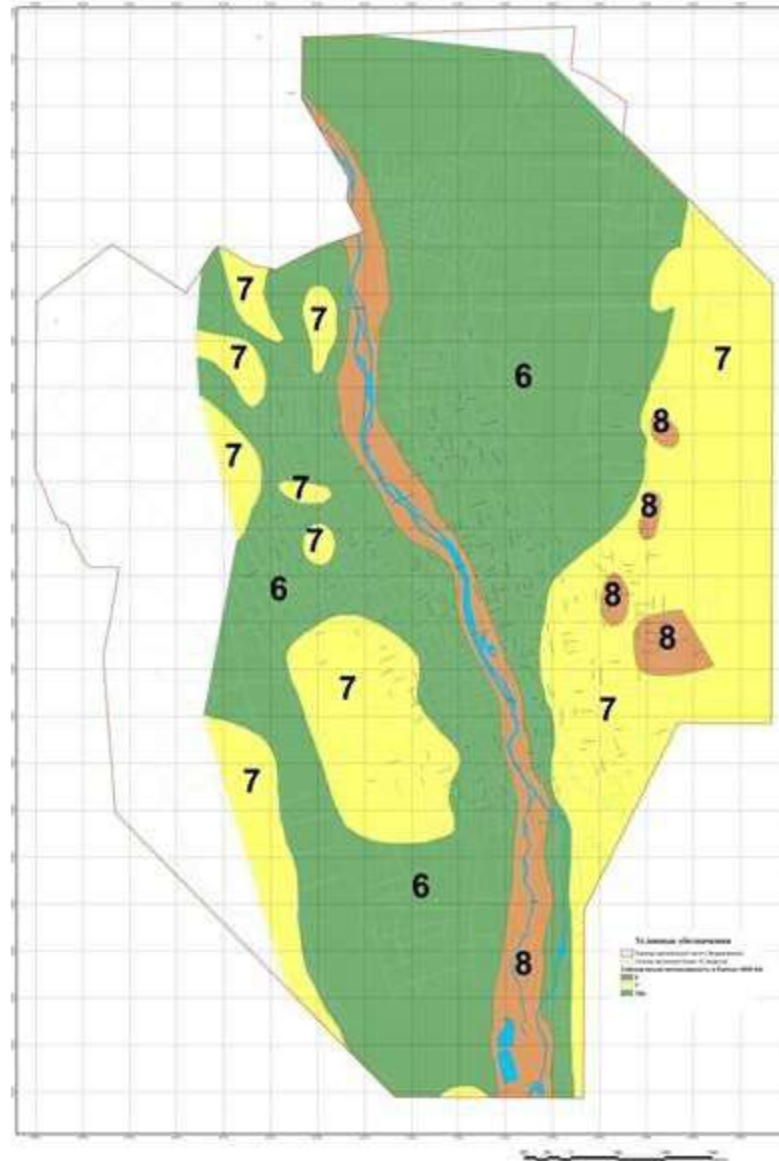


КАРТА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ЗАКОНОМЕРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ Г. ВЛАДИКАВКАЗА

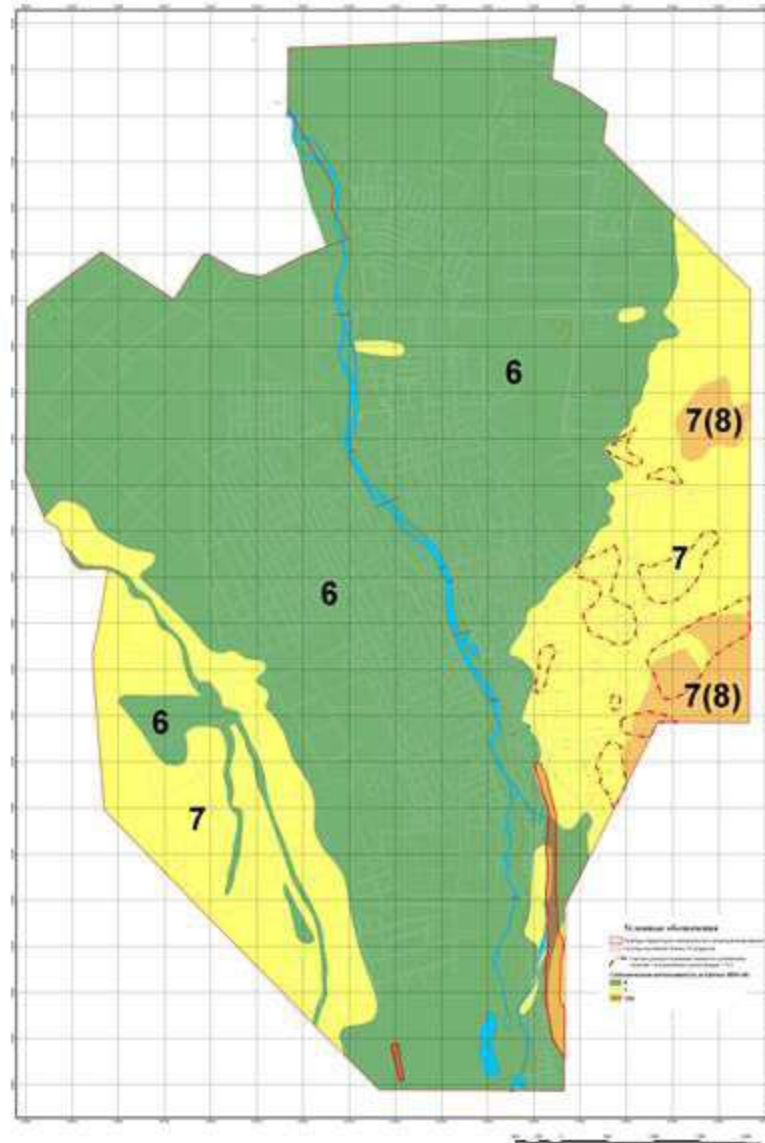




КАРТА - СХЕМА СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ (1970 г.)

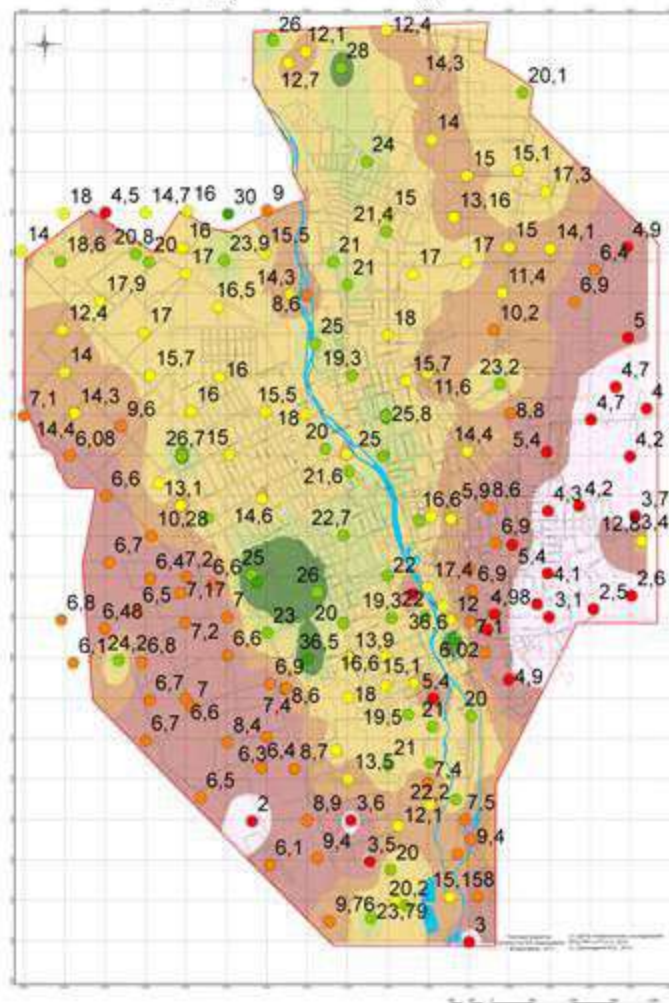


КАРТА - СХЕМА СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ (1991 г.)



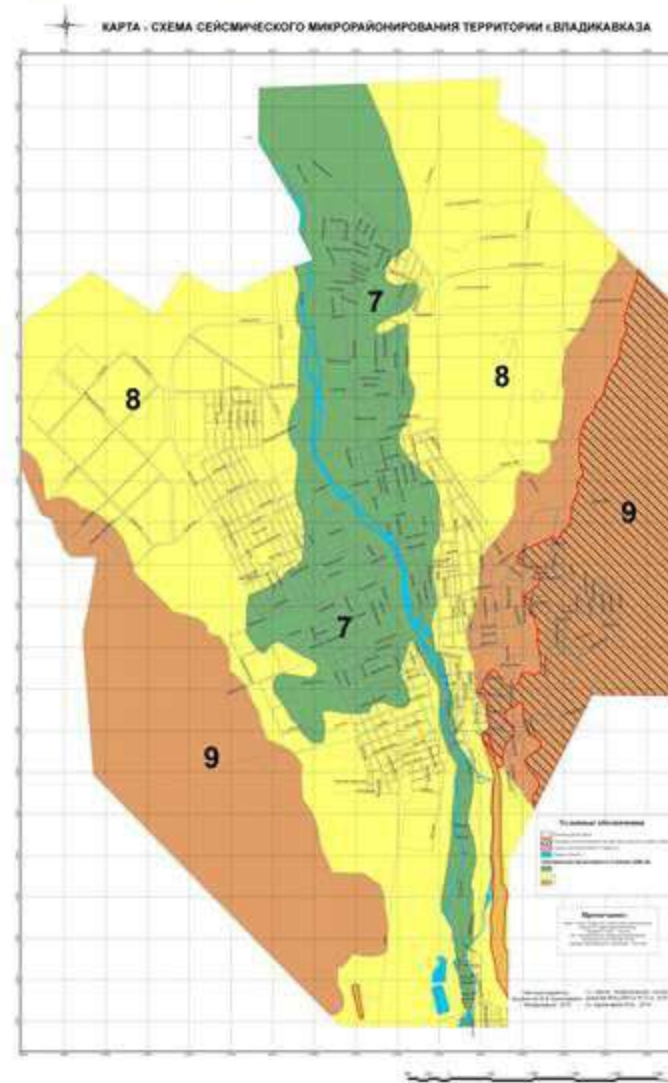


Преобладающие частоты колебаний по  
инструментальным данным



**Условные обозначения**

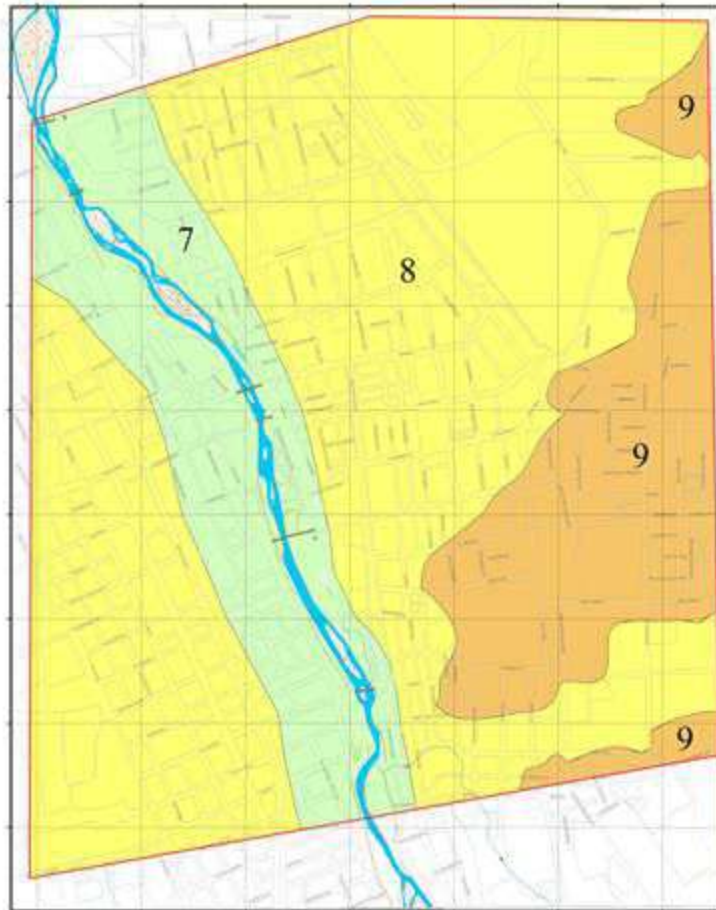
- |            |            |            |
|------------|------------|------------|
| 3,3 - 5 Гц | 10 - 15 Гц | 20 - 25 Гц |
| 5 - 10 Гц  | 15 - 20 Гц | 25 - 32 Гц |



Карта-схема сейсмического микрорайонирования  
территории г.Владикавказ



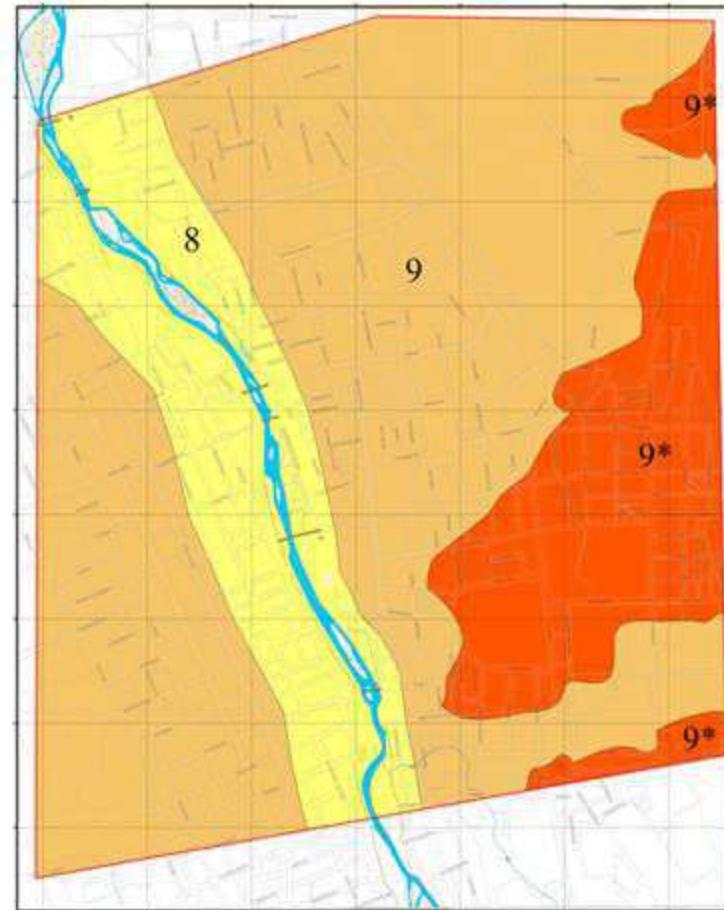
КАРТА СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ  
ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ Г.ВЛАДИКАВКАЗА



а)



КАРТА СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ  
ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ Г.ВЛАДИКАВКАЗА



б)





## Проблема управления и снижения рисков

Риск по определению это – экономические и социальные потери.  
Снижение риска предполагает снижение или исключение потерь.

Риск упрощенно можно вычислить по следующей формуле:

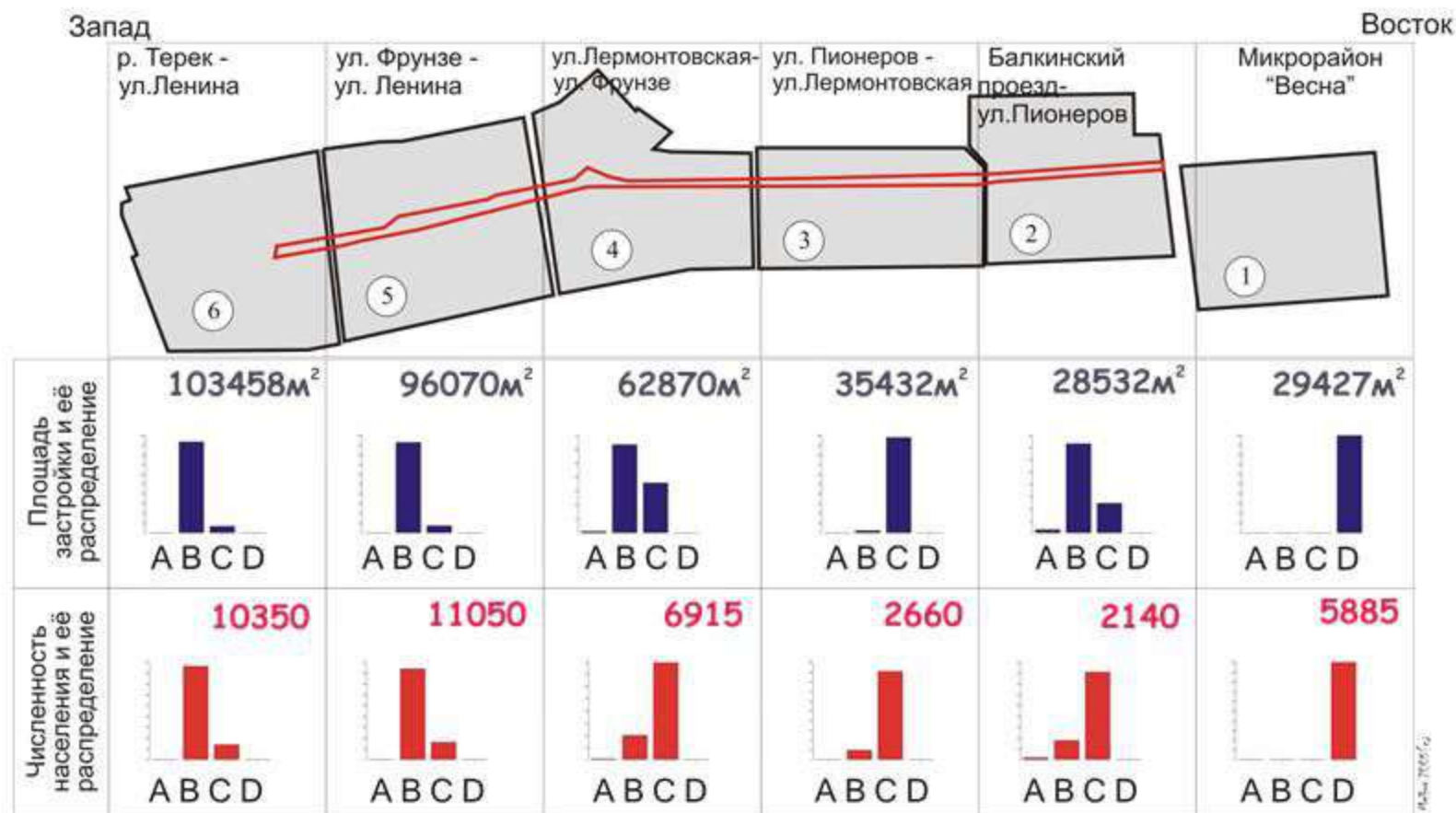
$$R = H \times U \quad (1)$$

где R – риск;  
H – опасность;  
U – уязвимость.

## Исследуемые кварталы и инженерно-геологические условия в районе ул.Куйбышева



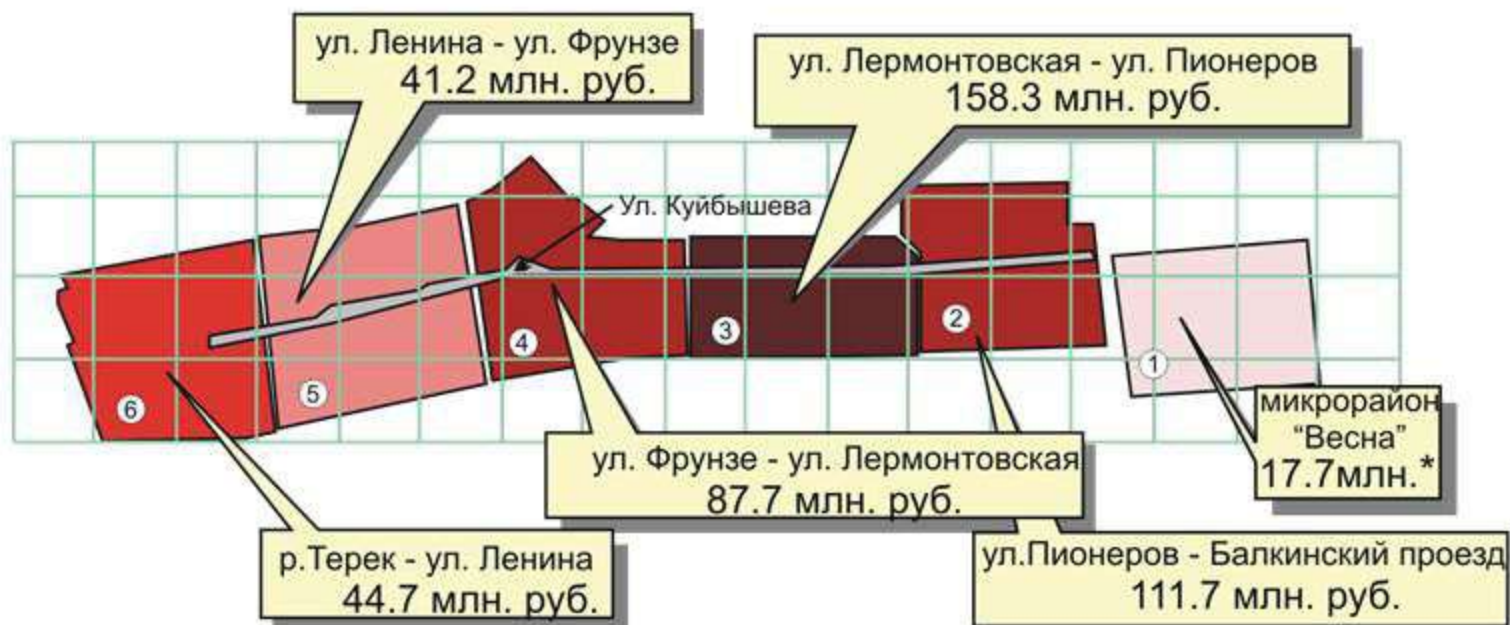
## Исходные данные для оценки сейсмического риска



## Оценка сейсмической опасности территории ул. Куйбышева (MSK-64) (г. Владикавказ)

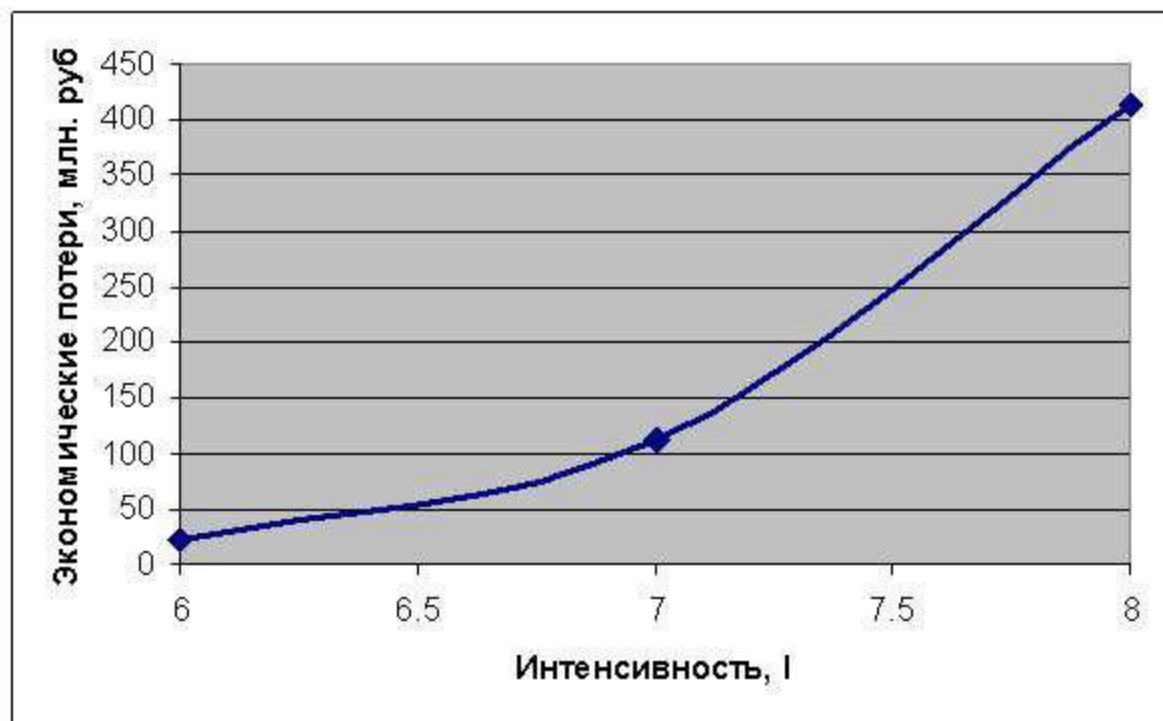


## Экономические потери при землетрясении интенсивностью 8 баллов

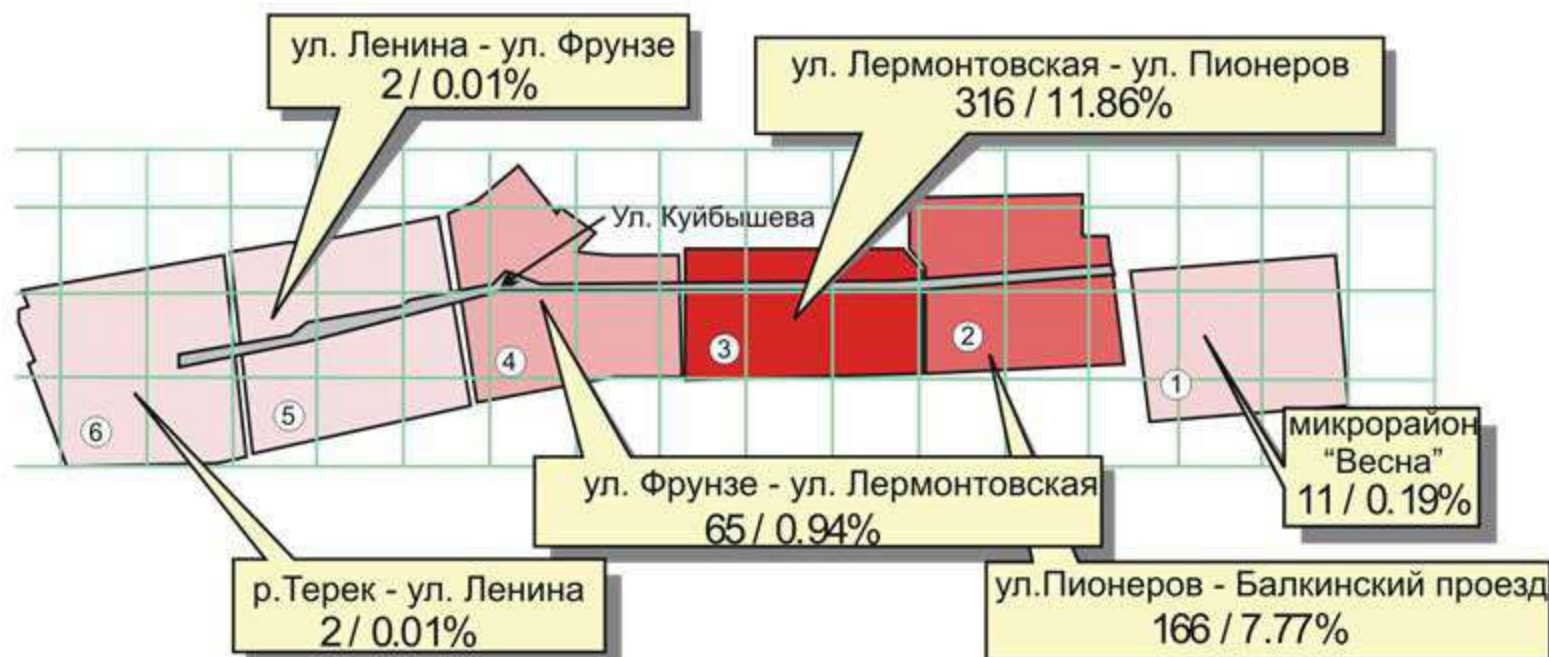


\* учитывая возможное разжижение грунтов  
экономические потери для участка №1 возрастут до 100 млн. руб

## Зависимость суммарных экономических потерь от интенсивности землетрясения

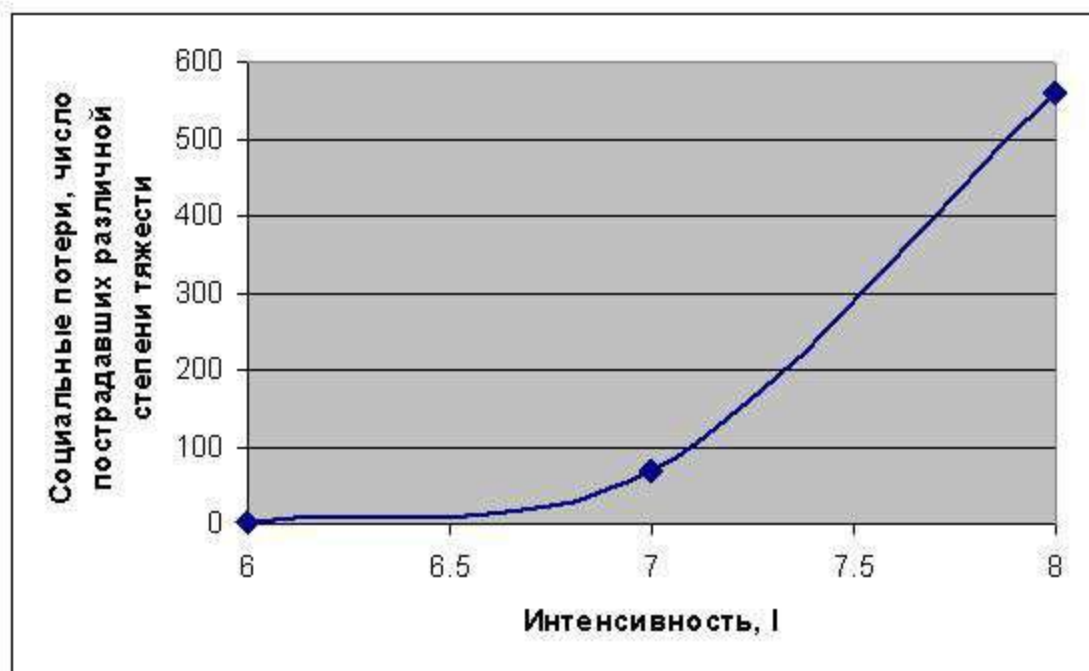


## Социальные потери при землетрясении интенсивностью 8 баллов



Цифры обозначают абсолютное число пострадавших и / число пострадавших в процентах от численности населения участка

## Зависимость суммарных социальных потерь от интенсивности землетрясения





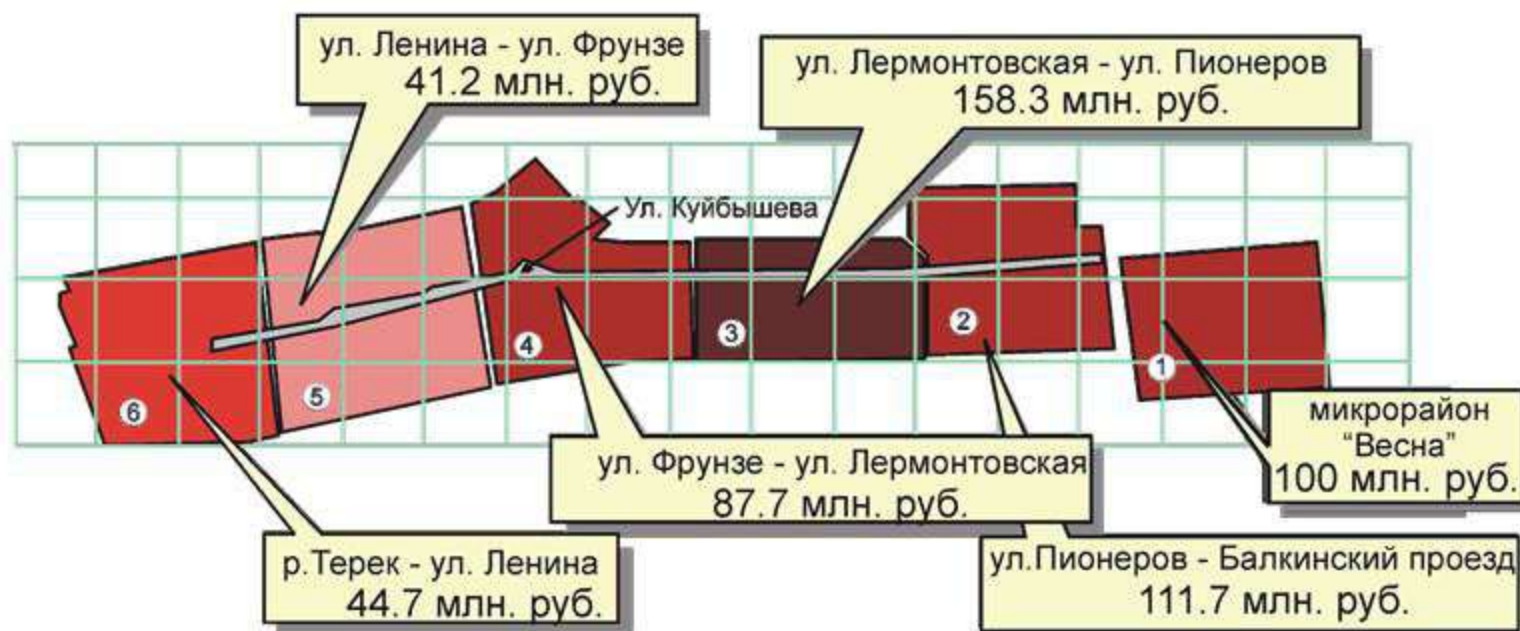


Микрорайон Хольцман,  
г. Владикавказ  
Разжижение грунтов  
возможно при 8 балльном  
землетрясении  
 $M_{max}=7.1$



Разжижение грунтов  
16 июня, 1964, Ниигата,  
Япония,  
 $M_{max}=7.5$

## Экономические потери при землетрясении интенсивностью 8 баллов



## Выводы

- В работе рассмотрены состояние и проблемы инженерной сейсмологии и ее место в практической градостроительной деятельности, и возможных путях их решения. Рассмотрены методы оценки ожидаемой сейсмической опасности и результаты их реализации в виде карт общего сейсмического районирования (ОСР), детального сейсмического районирования (ДСР) и сейсмического микрорайонирования (СМР) и особенности их практического использования.
- Проведен краткий анализ проблем, обусловленных формальным использованием рассмотренных оценок сейсмической опасности, в практических работах. Показано, что в этих условиях важнейшее значение приобретает качество и стратегическая глубина нормативных документов, тем более вновь разрабатываемых. Показана недопустимость при оценках сейсмической опасности непродуманно упрощать их реализацию, противоречащим негативному опыту, а также отечественной и мировой практике.



**Спасибо за внимание!**